

UNIBERTSITATE - GIZARTE
ELKARGUNEA
ENCUENTROS
UNIVERSIDAD - SOCIEDAD

Recopilación de Intervenciones en los
"Encuentros Universidad-Sociedad"

EL PAPEL DE LAS MATEMÁTICAS EN LA EMPRESA MATEMATIKAREN BETEKIZUNA ENPRESAN

"UNIBERTSITATE-GIZARTE ELKARGUNEA" HITZALDIEN BILDUNA

Palacio Euskalduna – Bilbao, 21 de Febrero de 2000

Euskalduna Jauregia – Bilbao, 2000ko otsailaren 21ean



Gizarte Kontseilua - Consejo Social

Gran Vía 38, 6ª 48009 Bilbao
Tel. 94 435 46 10 Fax 94 424 11 37
E-mail: bozconse@lg.ehu.es

© Secretaría Técnica del Consejo Social de la UPV/EHU
UPV/EHUko Gizarte Kontseiluaren Idazkaritza Teknikoa

Edita / Argitaratzailea :
Secretaría Técnica del Consejo Social de la UPV/EHU
UPV/EHUko Gizarte Kontseiluaren Idazkaritza Teknikoa

Imprimaketa / Impresión: Lankopi

Paper erreziklatuan imprimatu da
Impreso en papel reciclado

Tirada / Ale kopurua: 1500



ENCUENTROS UNIVERSIDAD-SOCIEDAD
UNIBERTSITATE-GIZARTE ELKARGUNEA

“El papel de las Matemáticas en la Empresa”
“Matematikaren betekizuna Enpresan”





Participantes en el debate sobre
“El papel de las Matemáticas en la Empresa”

Pedro M^a Altuna, Miembro del Consejo Social en representación de ELA
Juan José Anza, Departamento Matemática Aplicada, Escuela de Ingenieros Industriales y de Ingenieros de Telecomunicaciones de Bilbao, UPV/EHU
Javier Barrondo, Director de Planificación y Selección de IBERDROLA
Agustín Berasaluce, Subdirector General del Departamento de Investigación Comercial, BBVA
Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Matemáticas
Carlos Bertrand, Departamento de I+D, SIDENOR
Ignacio Caminos, Responsable de Planificación y Control, Bilbao Bizkaia Kutxa
Antonio Corral, Director de Area, Consultora IKEI (Instituto Vasco de Estudios e Investigación)
Javier Duoandikoetxea, Director del Departamento de Matemática, Facultad de Ciencias, UPV/EHU y Miembro del Comité en el País Vasco para la celebración del Año Mundial de las Matemáticas en el País Vasco
M^a Pilar Elorrieta, Secretaria Técnica, Consejo Social UPV/EHU
Manuel Errezola, Director de Información, Docencia e Investigación Sanitaria, Departamento Sanidad, Gobierno Vasco
Fernando Espiga, Director de la Unidad Mecánica, LABEIN (Laboratorio de Ensayo e Investigación Industrial)
M^a Jesús Esteban, Profesora Universidad de París
Alberto Fernández, Director de la UET, SPRI (Sociedad de Promoción y Reconversión Industrial)
Eva Ferreira, Departamento de Economía Aplicada III, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de Bilbao, UPV/EHU
Purificación González, Directora del Departamento de Matemática Aplicada, E.T.S. Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones de Bilbao, UPV/EHU
José A. Jainaga, Director General SIDENOR
Pedro Larrea, Presidente Consejo Social UPV/EHU
Juan Andrés Legarreta, Director Gerente de EUSKOIKER y Profesor de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Ingenieros de Telecomunicaciones de Bilbao, UPV/EHU
Iñaki Les, Departamento de I+D, SIDENOR
Mikel Lezaun, Director del Departamento de Matemática Aplicada y Estadística e Investigación Operativa, Facultad de Ciencias, UPV/EHU y Coordinador del Comité en el País Vasco para la celebración del Año Mundial de las Matemáticas

José Antonio Lozano, Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, Facultad de Informática, UPV/EHU

Lourdes Llorens, Directora del Instituto Vasco de Estadística EUSTAT

Gabriel de Mariscal, Letrado Asesor del Consejo Social, UPV/EHU

Juan V. Martín, Director del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, E.T.S. de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones de Bilbao, UPV/EHU

David Maza, Departamento de I+D, SIDENOR

Patricia Pérez, Jefe de Equipo, CORITEL, S.L

Gloria Pérez, Departamento de Matemática Aplicada, Estadística e Investigación, Facultad de Ciencias, UPV/EHU

Gonzalo Rubio, Departamento de Fundamentos del Análisis Económico, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, UPV/EHU

Josu Sagastagoitia, Director Gerente de Metro Bilbao

Luis Angel Seco, Profesor Universidad de Toronto

José Manuel Tarela, Departamento del Electricidad y Electrónica, Facultad de Ciencias, UPV/EHU

Manuel Tello, Decano de la Facultad de Ciencias y Miembro del Consejo Social

Arantza Urkaregi, Departamento de Matemática Aplicada y Estadística e Investigación Operativa, Facultad de Ciencias, UPV/EHU y Miembro del Consejo Social

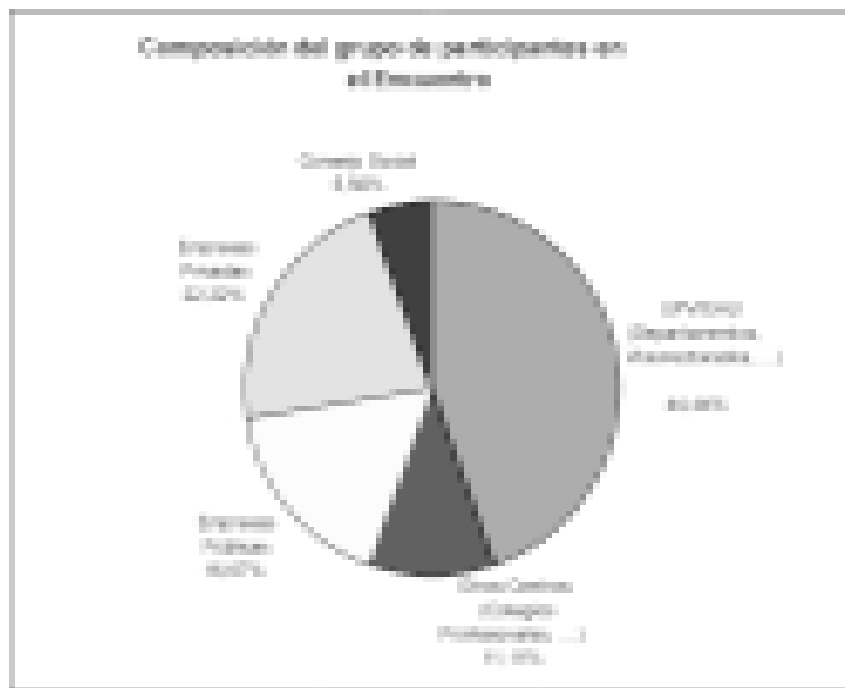
Enrique Urrutia, Profesor del Instituto Miguel de Unamuno y Ex-miembro del Consejo Social de la UPV/EHU

Javier Urrutia, Director de Promoción de I+D, Vicerrectorado de Relaciones Universidad Empresa, UPV/EHU

José Roman Ustarroz, Representante del Iguatorio Médico Quirúrgico

Luis Vega, Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias, UPV/EHU

José M. Zarzuelo, Director del Departamento de Economía Aplicada IV, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, UPV/EHU



El cuestionario de satisfacción ha sido respondido por 22 de los asistentes (64,70 %).

RESULTADOS DEL CUESTIONARIO (notas medias)

1. ORGANIZACIÓN DE LOS ENCUENTROS

- a. La comunicación e información previa a las Jornadas: 6,95
- b. La duración: 8,18
- c. El horario: 8,09
- d. Medios utilizados: equipos, material, traducción simultánea,... 7,88

2. CONTENIDOS

- a. Contenidos tratados: 7,59
- b. Cantidad temas abarcados: 7,04
- c. Claridad, amenidad en la exposición: 7,45
- d. Ponente: 8,50

3. SUGERENCIAS

- a. Valoración general del Encuentro: 7,75

Indice

PRESENTACIÓN

Pedro Larrea, PRESIDENTE DEL CONSEJO SOCIAL DE LA UPV/EHU	13
Manuel Tello, DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y MIEMBRO DEL CONSEJO SOCIAL DE LA UPV/EHU	14

CONFERENCIA

Alfredo Bermúdez de Castro, DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA APLICADA DE LA UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA, FACULTAD DE MATEMÁTICAS	17
--	-----------

DEBATE

Pedro Larrea, PRESIDENTE DEL CONSEJO SOCIAL DE LA UPV/EHU	32
Alfredo Bermúdez de Castro	33
José A. Jainaga, DIRECTOR GENERAL SIDENOR	34
Alfredo Bermúdez de Castro	34
Juan Andrés Legarreta, DIRECTOR GERENTE DE EUSKOIKER Y PROFESOR DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIONES DE BILBAO, UPV/EHU	35
Alfredo Bermúdez de Castro	35
Eva Ferreira, DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA APLICADA III, FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES BILBAO, UPV/EHU	36
Alfredo Bermúdez de Castro	36
Juan Andrés Legarreta, DIRECTOR GERENTE DE EUSKOIKER Y PROFESOR DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIONES DE BILBAO, UPV/EHU	37
Juan José Anza, DEPARTAMENTO MATEMÁTICA APLICADA, ESCUELA DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIONES DE BILBAO, UPV/EHU	39

Alfredo Bermúdez de Castro	39
Javier Barrondo, DIRECTOR DE PLANIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE IBERDROLA	40
Alfredo Bermúdez de Castro	41
Carlos Bertrand y David Maza, DEPARTAMENTO I+D, SIDENOR	42
Alfredo Bermúdez de Castro	42
Josu Sagastagoitia, DIRECTOR GERENTE DE METRO BILBAO	43
Alfredo Bermúdez de Castro	44
Antonio Corral, DIRECTOR DE AREA, CONSULTORA IKEI	44
Alfredo Bermúdez de Castro	44
Pedro M ^a Altuna, EN REPRESENTACIÓN DE ELA Y MIEMBRO DEL CONSEJO SOCIAL UPV/EHU	46
Alfredo Bermúdez de Castro	46
Luis Vega, DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS, FACULTAD DE CIENCIAS, UPV/EHU	47
Alfredo Bermúdez de Castro	47
Luis Vega, DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS, FACULTAD DE CIENCIAS, UPV/EHU	47
Agustín Berasaluce, SUBDIRECTOR GENERAL DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN COMERCIAL, BBVA	47
Alfredo Bermúdez de Castro	49
Mikel Lezaun, DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA APLICADA Y ESTADÍSTICA E INVESTIGACIÓN OPERATIVA, FACULTAD DE CIENCIAS, UPV/EHU Y COORDINADOR DEL COMITÉ EN EL PAÍS VASCO PARA LA CELEBRACIÓN DEL AÑO MUNDIAL DE LAS MATEMÁTICAS .	50
Arantza Urkaregi, DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA APLICADA Y ESTADÍSTICA DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA, FACULTAD DE CIENCIAS Y MIEMBRO DEL CONSEJO SOCIAL UPV/EHU	52
Alfredo Bermúdez de Castro	52
Javier Duoandikoetxea, DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA, FACULTAD DE CIENCIAS, UPV/EHU Y MIEMBRO DEL COMITÉ EN EL PAÍS VASCO PARA LA CELEBRACIÓN DEL AÑO MUNDIAL DE LAS MATEMÁTICAS EN EL PAÍS VASCO	53

Lourdes Llorens, DIRECTORA DEL INSTITUTO VASCO DE ESTADÍSTICA EUSTAT	56
Luis Vega, DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS, FACULTAD DE CIENCIAS, UPV/EHU	57
Alfredo Bermúdez de Castro	57
Jose Antonio Lozano, DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN E INTELIGENCIA ARFICIAL, FACULTAD DE INFORMÁTICA, UPV/EHU	59
Alfredo Bermúdez de Castro	59
Juan José Anza, DEPARTAMENTO MATEMÁTICA APLICADA, ESCUELA DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIONES DE BILBAO, UPV/EHU	61
Arantza Urkaregi, DEPARTAMENTO DE MATEMATICA APLICADA Y ESTADÍSTICA E INVESTIGACIÓN OPERATIVA, FACULTAD DE CIENCIAS Y MIEMBRO DEL CONSEJO SOCIAL UPV/EHU	62
Alfredo Bermúdez de Castro	62
Arantza Urkaregi, DEPARTAMENTO DE MATEMATICA APLICADA Y ESTADÍSTICA E INVESTIGACIÓN OPERATIVA, FACULTAD DE CIENCIAS Y MIEMBRO DEL CONSEJO SOCIAL UPV/EHU	63
Alfredo Bermúdez de Castro	63
Pedro Larrea, PRESIDENTE DEL CONSEJO SOCIAL, UPV/EHU	64
Jose Antonio Lozano, DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN E INTELIGENCIA ARFICIAL, FACULTAD DE INFORMÁTICA, UPV/EHU	64
Manuel Tello, DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y MIEMBRO DEL CONSEJO SOCIAL	65
Alfredo Bermúdez de Castro	65
Pedro Larrea, PRESIDENTE DEL CONSEJO SOCIAL, UPV/EHU	66
Mikel Lezaun, DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA APLICADA Y ESTADÍSTICA E INVESTIGACIÓN OPERATIVA, FACULTAD DE CIENCIAS, UPV/EHU Y COORDINADOR DEL COMITÉ EN EL PAÍS VASCO PARA LA CELEBRACIÓN DEL AÑO MUNDIAL DE LAS MATEMÁTICAS	67
Pedro Larrea, PRESIDENTE DEL CONSEJO SOCIAL, UPV/EHU	70

“El papel de las Matemáticas en la Empresa”

Pedro Larrea, Presidente del Consejo Social

Buenos días a todos. Bienvenidos a este Encuentro y muchas gracias por su asistencia. Una asistencia cualificada y equilibrada en el sentido de que aproximadamente la mitad de los aquí presentes procedéis del mundo académico y estáis involucrados en actividades docentes y de investigación en torno a las matemáticas y el 50% restante somos gente del mundo de la empresa, tanto pública como privada. Esta composición así de equilibrada promete dar bastante juego en el coloquio de este Encuentro.

Tras una breve presentación del ponente, a cargo de Manuel Tello, Presidente de la Comisión de Relaciones con la Sociedad, Alfredo Bermúdez de Castro expondrá su ponencia, en torno a 30 ó 40 minutos, a partir de esa hora tenemos tiempo hasta las dos, para debatir. Yo os pido que habléis de manera absolutamente libre, siguiendo algún hilo conductor que os haya parecido interesante seguir.

La importancia del tema no hay que enfatizarla. Por propia experiencia profesional yo puedo asegurar que muchas veces me he quedado bloqueado por falta de una mayor formación matemática en el desarrollo de algunos asuntos. En cualquier caso, hay aquí suficientes representantes de la empresa como para podernos confirmar si esto es así. Espero que la parte académica sepa vender a la empresa hasta qué punto la utilización de los instrumentos de análisis matemático pueden permitir una gestión más profesional de las organizaciones empresariales.

Os recuerdo que la documentación entregada contiene un resumen de la introducción que va a realizar el ponente, una publicación que recoge las intervenciones de la jornada anterior de estos Encuentros y el programa de las charlas que el Comité del País Vasco ha organizado para la celebración del Año Mundial de las Matemáticas durante el mes

de marzo. También quiero recordar que podéis hacer llegar al ponente las preguntas que deseéis y en el momento que queráis hacerlo, haciendo uso de unas hojas que a este efecto tenéis encima de la mesa.

Por último, decir que a mi derecha está el profesor Bermúdez de Castro. También nos acompaña el profesor Lezaun, que es el Coordinador del Comité en el País Vasco para los eventos del Año Mundial de las Matemáticas y, como sabéis, profesor de la UPV/EHU; a mi izquierda está la Secretaria Técnica del Consejo, Pilar Elorrieta y, el profesor Tello, Presidente de la Comisión de Relaciones de la Sociedad y Decano de la Facultad de Ciencias.

Sin más cedo la palabra al profesor Tello.

Manuel Tello, Decano de la Facultad de Ciencias y Miembro del Consejo Social

Buenos días. La Jornada de hoy se va a desarrollar en torno a la ponencia que va a dar el profesor Bermúdez de Castro. El profesor Bermúdez de Castro es Catedrático en la Universidad de Santiago de Compostela. Inició su formación postgraduada en París en el laboratorio que en aquel momento dirigía el profesor Lyons, posteriormente Presidente de la Academia de Ciencias francesa. Es interesante recalcar que los franceses llaman laboratorio a un departamento de matemáticas donde se investiga en matemáticas. Al terminar su Doctorado volvió otra vez a Santiago donde se dedica a trabajar en ámbitos diversos de las matemáticas. Para los fines de este encuentro debemos destacar su dedicación a las aplicaciones de las matemáticas a temas de desarrollo industrial e impacto económico de los entornos. Así, ha trabajado en temas relacionados con la industria metalúrgica, con la industria aerospacial y con la industria medioambiental haciendo análisis de impacto medioambiental, sistemas de corrección, etc. El trabajo profesional del profesor Bermúdez de Castro nos demuestra que el mundo de las matemáticas no es simplemente el de suministrar una herramienta que necesitan las demás áreas del conocimiento sino, que es una ciencia que tiene contenido en sí misma y que, además en las sociedades avanzadas tiene un interés creciente para el sector productivo. Desde su incorporación a la Universidad de Santiago ha

dirigido una docena de tesis doctorales y ha formado parte, prácticamente, de todas las iniciativas que han surgido en España y muchas de las que han aparecido en Europa relacionadas con la Aplicación de las Matemáticas a Entornos Industriales. Así pertenece a la Sociedad Española de Métodos Numéricos e Ingeniería, y a la Sociedad Española de Matemática Aplicada, desde su creación. Además es miembro de varias Comisiones Europeas dedicadas exactamente al mismo tipo de problemas. Entre ellas destaca, su participación en una red europea de excelencia (son redes que se crean para intentar incrementar la competitividad de Europa) dedicada a las matemáticas, a la computación y a la simulación para la industria. Y lo que le da valor a su personalidad como docente y como científico es el hecho de, dedicándose a temas tan aplicados no deja de ser valorado en ámbitos mucho más restringidos a ciencias básicas. Una prueba de ello es la reciente concesión del Premio de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Esto quiere decir que también los temas aplicados pueden ser de valor, pueden tener valor y además, en una sociedad innovadora, deben de tener valor. Y sin más les dejo con él, que es quien realmente nos va a dirigir la sesión.

CONFERENCIA

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Matemáticas

En primer lugar quiero agradecer la invitación. Cuando hace unos días los profesores y amigos Mikel Lezaun y Luis Vega contactaron conmigo para ver si participaba en estas Jornadas, debo confesarles que experimenté sensaciones contradictorias. Por un lado el tema me agradaba mucho, pero por otro lado suponía un desafío para una persona que es de profesión matemático y que por lo tanto está más acostumbrado a hablar de ecuaciones y de teoremas, que a participar en un foro como éste, con una presencia importante de personas que, conociendo las matemáticas, no son realmente especialistas... En fin, creo que de todas formas la misión del ponente no es más que recopilar una serie de elementos para suscitar un debate y estoy seguro que la alta cualificación de todos ustedes va a suplir todas las carencias de mi intervención.



La charla va a tener dos partes: en una primera voy a hablar, de forma muy general, de las aplicaciones de las matemáticas, de cuál es la situación en nuestro país y de qué cambios habría que introducir para mejorarla; porque yo creo que se puede mejorar. En la segunda parte voy a intentar ilustrar algunos aspectos de la primera contándoles experiencias que ha llevado a cabo nuestro grupo de investigación en la Universidad de Santiago de Compostela con algunas empresas. De manera que la primera idea clave es que las matemáticas son útiles para el sistema productivo. Yo diría que son útiles en dos vertientes bastante diferentes, la primera se deriva del hecho de que estudiar matemáticas forma a la persona y le confiere una serie de aptitudes genéricas como son: capacidad de análisis, capacidad para detectar y analizar problemas y por lo tanto para intentar resolverlos, capacidad para comunicar, para formalizar, es decir, lenguaje, rigor, etc. Yo creo que esto es algo de lo que todos los aquí presentes somos conscientes y, sin duda, es lo que lleva a algunas empresas, a contratar matemáticos, no necesariamente en puestos de matemáticos, no necesariamente para hacer cálculos, sino para integrarse en equipos en el ámbito, por ejemplo, de la organización. Pero, además de esta vertiente hay otra de la que yo querría hablar más aquí, y es que las matemáticas sirven para resolver problemas tecnológicos y, en este sentido, entroncan con algo que hoy resulta fundamental en la empresa moderna: la innovación. Las matemáticas, como luego intentaré ilustrar con algunos ejemplos, constituyen un soporte esencial, una valiosa herramienta, para resolver problemas tecnológicos en el ámbito de la innovación; pero también es bien conocido que las matemáticas ayudan a tomar decisiones en el ámbito de la planificación, de la organización de la producción, de la planificación financiera; en el mundo de las modernas finanzas, las matemáticas constituyen un soporte fundamental para la evaluación del precio de los “productos derivados”. Pero, además de ser útiles en la industria, en la empresa en general, las matemáticas son útiles para mejorar la calidad de vida y reducir el impacto que las actividades económicas producen en el medio ambiente. Aquí tenemos tres ejemplos que ilustran este epígrafe que encabeza la transparencia; son ejemplos de índole muy diversa. En primer lugar, cuando uno entra en un hospital y se somete, por ejemplo, a una exploración radiológica, detrás de ese aparato hay matemáticas. El análisis de Fourier está

detrás de muchos dispositivos que se utilizan hoy en radiodiagnóstico; los aparatos que se emplean para corregir la miopía con láser utilizan matemáticas. La medicina yo creo que es un ámbito donde en los próximos años las matemáticas van a estar muy presentes. Pero las matemáticas permiten también hacer cosas que están presentes en nuestra vida cotidiana, como es el caso de la predicción meteorológica. Cuando uno observa el mapa del tiempo a través de la televisión todas las noches, el llamado mapa de isobaras, generalmente desconoce que ha sido producto de una simulación en ordenador del comportamiento de la atmósfera. Ese mapa y otros que ayudan a los meteorólogos a predecir el tiempo a corto y medio plazo, se obtienen al resolver un modelo matemático constituido por ecuaciones. Lo mismo ocurre en el estudio de la evolución del clima; cuando se dice “si las actividades humanas no permiten reducir las emisiones de dióxido de carbono en un cierto porcentaje, el planeta se va a calentar tantos grados en el año 2100”, es porque existen modelos matemáticos que están indicando este tipo de evolución. Un último ejemplo que enlaza con un tema de gran interés social: las matemáticas ayudan a evaluar el impacto ambiental. Con ayuda de modelos matemáticos se puede saber si las emisiones de ciertos vertidos, por ejemplo en una ría, van a ser toleradas por el ecosistema o, por el contrario, van a producir aumentos inadmisibles de la contaminación.

Bueno, pues, a pesar de todo esto, a pesar de que las matemáticas son realmente útiles, tanto para el sistema productivo como para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, en España la presencia de matemáticos en la empresa es escasa, a diferencia de países de nuestro entorno como Reino Unido, Francia o Alemania. Los matemáticos están poco en las empresas; los encontramos, fundamentalmente, en la docencia, en la investigación básica, y aunque es cierto que cada vez hay más empresas que contratan a matemáticos yo creo que no los contratan para hacer cálculos, no los contratan para hacer matemáticas en sentido estricto, los contratan la mayoría de las veces para tareas relacionadas con la informática de gestión. Las razones de esta situación son diversas; algunas son de carácter general, podrían aplicarse no sólo a los matemáticos, sino también a físicos, a

químicos... Entre ellas está una falta de tradición científica y tecnológica. Los científicos tenemos conciencia clara de que en España ha habido recientemente un enorme avance en la investigación; en el caso de las matemáticas es clarísimo: en los últimos 20 o 25 años ha habido un desarrollo extraordinario, pero también somos conscientes de que no hay nombres relevantes en la historia de las matemáticas que sean españoles. Tenemos, por tanto, una falta de tradición científica que se traduce en una posición débil en el campo de la innovación tecnológica. Es cierto que, como decía, esta situación está cambiando.

Probablemente esta falta de tradición científica lleve a que la mayoría de la población no perciba la importancia que los avances científicos tienen en su bienestar. Antes les ponía un ejemplo en el ámbito de la medicina: estoy convencido de que cuando alguien va a hacerse una exploración radiológica a un hospital va a pensar que el aparato que tiene delante está relacionado con los ordenadores, con la informática; sin embargo, yo creo que no es consciente de que detrás de ese aparato hay algoritmos matemáticos bastante sofisticados. Por lo tanto, resulta lógico que después ese ciudadano no se muestre muy sensible a dar su apoyo a la investigación matemática. En mi opinión ésta es una de las causas por las que en este país no ha habido ningún programa para el desarrollo de la investigación matemática, como los que existen en otros campos de la ciencia o la tecnología. La situación se refleja también en la poca presencia que los temas matemáticos, y en general los científicos, tienen en los medios de comunicación; de nuevo aquí hay una diferencia con los países de nuestro entorno.

Y por último, algo que afortunadamente está cambiando, y es que no existe una tradición de colaboración entre los centros de investigación y el sistema productivo. En este sentido yo creo que foros como éste del Consejo Social ayudan sin duda a que la situación cambie.

Pero además de estas causas de carácter general, yo creo que existen otras que son más específicas, más particulares de las matemáticas; en las que los matemáticos tenemos una responsabilidad

especial. Me refiero por ejemplo a la orientación de los planes de estudio de las Facultades de Matemáticas que, en mi opinión, han estado muy polarizados hacia la matemática pura. Nos hemos preocupado de formar profesionales para que investigasen, lo cual ha dado sus frutos: un indicador como son las publicaciones realizadas por españoles en matemáticas en los últimos años, se ha incrementado considerablemente y ha llegado a porcentajes realmente importantes. Sin embargo hemos descuidado otros aspectos, muy importantes también por su transcendencia social, como son las aplicaciones. Lo peor es que esto no sólo ha ocurrido en las Facultades de Matemáticas, sino también en las Escuelas de Ingeniería y ahí el asunto es mucho más grave porque los ingenieros deberían estar especialmente sensibilizados por las aplicaciones de las matemáticas. En muchas ocasiones las matemáticas en las Escuelas Técnicas han jugado un papel de selección: puesto que son asignaturas difíciles, entonces las suspende mucha gente y eso permite que sólo continúen los mejores.

Con objeto de respetar el horario y no superar la media hora o cuarenta minutos, voy a hablar de la modelización de manera muy esquemática. En primer lugar quisiera hacer una observación: como todos sabéis, las matemáticas son muy diversas y en una charla como ésta resulta imposible referirse a todas ellas; por ejemplo no voy a hablar de la estadística, pero creo que es obvio el papel que tiene esta disciplina en muchos ámbitos; tampoco de la matemática discreta y sus relaciones con la informática; yo voy a hablar, fundamentalmente, de la modelización en ingeniería, por lo tanto me voy a restringir a un ámbito importante pero no el único de la matemática aplicada.

La idea es bien sencilla: el mundo físico se rige por unas leyes que se pueden formular con matemáticas de modo que éstas son, de alguna forma, el lenguaje de las ciencias experimentales; tradicionalmente de la física, pero hoy día también de la biología o las ciencias sociales. Entonces, estas leyes constituyen modelos que permiten simular el comportamiento de los dispositivos o procesos industriales. Generalmente los modelos están constituidos por sistemas de ecuaciones; esas ecuaciones tienen unas incógnitas que son las

magnitudes físicas que representan el fenómeno objeto de estudio. Por ejemplo, si se desea conocer lo que pasa en el interior de una caldera de carbón de una Central Térmica, todos somos conscientes de que medir, observar dentro de un recinto donde tienen lugar flujos de gases complejos, temperaturas elevadas, etc., es algo realmente difícil. Entonces una alternativa consiste en recurrir a modelos matemáticos: la física y la química nos han proporcionado ecuaciones que gobiernan fenómenos como el movimiento de los fluidos, la transferencia de calor, las reacciones químicas de la combustión, etc. Pues bien, todas estas ecuaciones se pueden resolver hoy día con ayuda, eso sí, de ordenadores muy potentes y de métodos matemáticos sofisticados. Uno puede determinar, efectivamente, cuál es la temperatura en cada uno de los puntos de una caldera, cuál es la concentración de los diferentes gases, saber si la reacción de combustión progresa adecuadamente o no, si se producen asimetrías en la caldera que puedan provocar un calentamiento excesivo de alguna de sus paredes y por lo tanto escoriaciones, etc. Bueno, es claro que el uso de modelos matemáticos es una herramienta que permite al ingeniero diseñar y también operar adecuadamente una caldera de una Central Térmica. Este ejemplo resulta de alguna forma paradigmático, ya que se puede repetir en muchos otros ámbitos de la industria. Ahora me referiré a algunos ejemplos concretos.

Esta transparencia incluye algunos que son bien conocidos. Por ejemplo, el cálculo estructural con elementos finitos. Se trata de una herramienta que se ha incorporado perfectamente a la industria. Hoy día, el diseño de un avión, tanto en los aspectos estructurales como aerodinámicos, se lleva a cabo en el ordenador antes de construir maquetas y hacer ensayos en túnel de viento. Cabe pensar en lo que esto supone de ahorro de tiempo y dinero, y su importancia en el ámbito de la industria moderna que debe situarse en una economía abierta donde es preciso desarrollar los productos a gran velocidad para mantener la competitividad.

Antes me referí a aplicaciones de las matemáticas a otros campos diferentes al de la empresa industrial. En esta línea querría

mencionar, aunque sea de pasada, uno que está experimentando un gran desarrollo en los últimos tiempos: el de las finanzas; concretamente el cálculo de los precios de los llamados productos derivados entre los que se cuentan las famosas “opciones sobre acciones”.

Esta ecuación que ven ustedes en la transparencia se utiliza para calcular el precio de una “opción europea”. Como pueden observar se trata de una ecuación en derivadas parciales que en este caso concreto se puede resolver “a mano” haciendo cálculos matemáticos. Esto es lo que hicieron Black, Merton y Scholes, los dos últimos Premio Nobel de Economía en el año 1997. Pero hoy día hay productos financieros mucho más sofisticados que estas opciones europeas, como las opciones americanas, o las asiáticas y si uno quiere calcular su precio tiene que resolver ecuaciones de este estilo; en muchas ocasiones esto no es posible hacerlo a mano y entonces es necesario ir a métodos numéricos y utilizar el ordenador como herramienta de cálculo.

Después de todo lo que llevo dicho está claro que hay una gran relación entre el modelado matemático y la informática, de hecho si el modelado matemático es cada vez más útil se debe, indudablemente, al avance de los ordenadores. En efecto, los modelos que rigen los procesos que interesan en ingeniería se conocen desde finales del siglo XIX; sin embargo la mayoría son ecuaciones complicadas que hasta la introducción de los ordenadores sólo se podían resolver en casos muy especiales de carácter académico y de escaso interés industrial. El avance de los ordenadores, su abaratamiento, factor muy importante, y el desarrollo de nuevos métodos de cálculo permiten resolver modelos complejos en tiempos de cálculo razonables. Por lo tanto, los ordenadores están permitiendo que la simulación numérica sea realmente una herramienta útil, y no sólo para la gran empresa. Hace 10 o 15 años, tan solo la gran industria utilizaba modelización matemática. La razón es que, en aquella época, los ordenadores que permitían resolver en tiempos de cálculo razonables los modelos eran superordenadores, por lo tanto, dispositivos muy costosos que requerían instalaciones sofisticadas. Sin embargo, en la actualidad, muchos de estos modelos se pueden resolver en ordenadores personales y esto significa una auténtica revolución porque, la herramienta ya está al alcance de la pequeña y mediana empresa.

Esta transparencia es un poco más técnica y recoge lo que sería la metodología de la simulación y el modelado matemático. Lo primero que hay que hacer es, evidentemente, analizar los fenómenos que uno pretende simular. Por ejemplo, si se quiere estudiar la combustión en una caldera de carbón, hay que pensar, en primer lugar, cuáles son los fenómenos fisico-químicos involucrados. El análisis del proceso va a permitirnos detectar los fenómenos fisico-químicos y por tanto los modelos matemáticos que rigen su comportamiento. El paso siguiente es la construcción del modelo. Después hay una etapa importante que es el análisis matemático de este modelo, quizás uno de los aspectos clásicos del quehacer de los matemáticos. De ella podemos obtener una valiosa información, sobre todo cualitativa, sobre el comportamiento del sistema. Pero las cosas no paran aquí porque ahora existen métodos numéricos y ordenadores potentes que hacen posible resolver la mayoría de los modelos. Este proceso va a producir cantidades ingentes de números y es necesario tener unos sistemas de representación que los haga fácilmente aprehensibles. De nuevo la informática proporciona una herramienta fundamental para la visualización de estos resultados. Finalmente todas estas etapas tienen que ir acompañadas de una validación del modelo, comparando sus predicciones con medidas experimentales. La experimentación sigue siendo necesaria aunque la simulación numérica permita reducirla: en primer lugar se necesita para determinar los parámetros característicos de los materiales, como puede ser un módulo de elasticidad en un cálculo de estructura, pero también, en segundo lugar, la validación de un modelo requiere contrastar sus resultados con medidas experimentales.

Voy a pasar a la segunda parte de la charla, en la que voy a presentarles algunas experiencias que hemos llevado a cabo en mi grupo de investigación, en la Universidad de Santiago, para algunas empresas. Voy a hablar en primer lugar de dos aplicaciones en la industria del aluminio: la simulación de cubas electrolíticas y de coladas; después, del modelado de calderas de carbón de centrales térmicas; a continuación, del diseño de electrodos metalúrgicos y, por último, de la evaluación del impacto medioambiental de vertidos en el mar.

En esta transparencia se recoge de forma esquemática el proceso de producción del aluminio. El aluminio se obtiene a partir de un mineral llamado bauxita, que es hidróxido de aluminio; la bauxita se transforma en óxido de aluminio, en alúmina, en los llamados hornos Bayer. A continuación, ésta sufre un proceso de reducción electrolítica mediante un proceso que fue patentado simultánea e independientemente por Hall en Estados Unidos y por Héroult en Francia, a finales del siglo pasado. Se trata, por lo tanto, de un proceso muy antiguo que a lo largo del tiempo se ha ido mejorando. Una vez que el aluminio en forma líquida se obtiene en las cubas electrolíticas, se transporta a otra nave de la factoría, para proceder a su solidificación en forma de lingotes de diferentes secciones y tamaños, como son las llamadas “placas” y “tochos”. Voy a hablarles brevemente de la simulación de una cuba electrolítica y también del proceso de solidificación de coladas.

Esto son dos fotografías de fábricas donde se muestran series de cubas electrolíticas. Típicamente, en una serie hay decenas de ellas conectadas eléctricamente en serie. Veamos un poco el interior. Aquí tenemos una sección transversal de una cuba; se compone fundamentalmente de un recipiente de acero en cuyo interior se dispone un bloque conductor de la electricidad que lleva embutido una barra de acero y que constituye el cátodo. El otro polo, el ánodo, es de materiales carbonosos y a él llega la electricidad a través de unas agujas metálicas. La cuba contiene además una serie de materiales, ladrillos refractarios y aislantes, para evitar una fuga de calor excesiva. El conjunto deja libre un recipiente en el que se introduce la alúmina disuelta en un electrolito llamado criolita. Entonces, al paso de la corriente eléctrica continua, la alúmina se descompone y se produce el aluminio que queda en fase líquida, depositado en el fondo de la cuba. Posteriormente se extrae y es transportado a la planta de colada, para proceder a su solidificación. Entro un poco en estos detalles porque me interesa contarles cuál es la problemática que tiene el ingeniero de una fábrica de aluminio y que le plantea en un momento dado al matemático. Estas cubas consumen gran cantidad de electricidad, siendo éste un factor muy importante en los costes de producción. Por ello es muy importante

conseguir un rendimiento energético óptimo. Pero, además, estas cubas se deterioran con el tiempo y cada cierto tiempo, algunos años, es necesario rehacerlas lo que conlleva también costes importantes. En resumen, el objetivo es doble: conseguir un buen rendimiento energético y alargar la vida de la cuba. Esta última depende, entre otros factores de la forma que tiene el “talud”. El talud es un material sólido que se produce en las paredes de la cuba como consecuencia de la solidificación del baño electrolítico. Su posición y tamaño, determina, no sólo el funcionamiento de la cuba sino también su vida, y ello por razones que van a entender inmediatamente. En primer lugar, si el talud fuese demasiado grande y se metiese bajo la “sombra del ánodo”, la corriente eléctrica se vería obligada a girar para evitarlo, porque es un material no conductor, y ello produciría una fuerza electromagnética que generaría inestabilidades en la superficie de separación entre el aluminio líquido del baño electrolítico. Estas inestabilidades pueden ocasionar cortocircuitos al tocar el aluminio el ánodo, lo que haría bajar el rendimiento eléctrico de la cuba. Por otro lado, si el talud fuese demasiado pequeño dejaría desprotegida la llamada “gran junta” y el baño, que es muy corrosivo, se infiltraría hacia la parte inferior de la cuba destruyéndola. Lo que el ingeniero desea saber es cuál es el comportamiento térmico de la cuba y, por las razones apuntadas, que forma va a tener el talud. Este conocimiento puede llevarse a cabo mediante simulación numérica. Uno puede escribir un modelo matemático del comportamiento de la cuba, en la que hay fenómenos de transporte de electricidad que se pueden modelar con las ecuaciones de Maxwell y de transferencia de calor que se puede modelar con la ecuación de Fourier; la resolución de esos modelos va a permitirnos representar las temperaturas, y en particular, saber cuál es la superficie del talud, cuál es su posición. Por ejemplo, los ingenieros de Inespal, que es la empresa para la que hemos hecho este estudio, se plantearon en algún momento, modificar el material del bloque catódico para mejorar el rendimiento energético, pero querían saber si ese cambio en el bloque podría alterar el equilibrio térmico de la cuba y modificar la posición del talud. Pues bien, con ayuda de programas de simulación numérica desarrollados por nosotros, fueron capaces de introducir las modificaciones necesarias en la geometría y en las propiedades del aislamiento térmico para que el talud tuviese la forma adecuada.

No voy a entrar en los detalles pero, aunque sea unos segundos, quiero mostrarles el modelo matemático utilizado; como ven hay una serie de ecuaciones que se resuelven mediante algoritmos matemáticos. Todo termina con la escritura de un programa y la elaboración de una aplicación que tiene una ventana principal con una serie de botones y menús desplegables, análoga a las que presentan las aplicaciones que utilizamos frecuentemente en la informática personal. Esto permite a los ingenieros introducir los datos con facilidad y al final obtener resultados como pueden ser los que les muestro en esta transparencia, donde uno puede ver por ejemplo las isotermas en una sección de la cuba, la posición del talud, etc. etc.

Otro proceso, también de la industria del aluminio, en cuya modelización hemos trabajado es la solidificación de coladas. El aluminio líquido se vierte en un molde que dispone de un falso fondo y que está refrigerado por agua que circula en su interior. Entonces comienza a solidificarse en las zonas en contacto con el molde y una vez que el aluminio sólido alcanza un espesor suficiente para contener al que todavía está líquido, se hace descender el falso fondo hasta completar la pieza colada.

Por cuestiones en las que no voy a entrar sobre la forma de cristalización del aluminio, es interesante utilizar una alternativa desarrollada en la antigua Unión Soviética, ya en los años 60, que es la colada electromagnética. En esta colada electromagnética el molde físico al que antes hacíamos referencia, se reemplaza por un molde electromagnético, es decir, por una bobina por la que se hace circular una corriente alterna y que va a generar un campo electromagnético que hace levitar el metal. En este caso son muchos los problemas tecnológicos que aparecen y en los que la simulación numérica puede aportar soluciones. Interesa, por ejemplo, determinar cuál es la intensidad de corriente que debe de atravesar la bobina para obtener una pieza de un tamaño determinado.

Por otro lado, existen problemas debido a las deformaciones que tiene lugar en el proceso de solidificación, por ejemplo, el llamado

“talón” sufre una fuerte deformación que después obliga a cortar una parte importante de la pieza colada que hay que refundir. Por otro lado, debido también a que el metal al solidificarse se contrae, es necesario determinar la forma del molde para que, al final, la sección de la pieza sea, por ejemplo, un rectángulo perfecto. Pues bien, a todo este tipo de problemas se puede responder con ayuda de programas de simulación numérica.

Simplemente un apunte sobre la validación de los modelos. Aquí tenemos una comparación de las temperaturas calculadas por el modelo con las obtenidas mediante termopares en coladas reales, en la empresa Inespal. Naturalmente, este excelente acuerdo se obtiene una vez que uno ha hecho un ajuste.

Paso rápidamente a otro ejemplo. Se trata de un proyecto que estamos desarrollando para la empresa Ferroatlántica I+D, una empresa del sector de las ferroaleaciones. En particular, la fábrica situada en el polígono industrial de Savon, cerca de A Coruña, produce silicio-metal que se utiliza para fabricar aleaciones aluminio-silicio. Esto que tienen aquí es un horno de arco que como vemos es un recipiente cilíndrico con tres electrodos que transportan la corriente eléctrica trifásica de alta intensidad. En su extremo inferior se produce un arco eléctrico que libera la energía necesaria para romper la molécula de cuarzo y producir el silicio. La empresa Ferroatlántica, a lo largo de los últimos años, ha desarrollado un nuevo electrodo para este tipo de hornos, que está alcanzando un enorme éxito a nivel mundial, pues permite reducir los costes de producción del silicio en un porcentaje importante. Este electrodo, llamado ELSA, es de tipo compuesto ya que consta de un núcleo de grafito y una corona de pasta Soderberg y constituye una alternativa rentable a los electrodos llamados “precocidos”, formados al unir piezas que se compran a fábricas especializadas. Por el contrario, en el ELSA, la corona exterior se produce in situ, al cocerse una pasta compuesta esencialmente de coque y brea. La idea es que los electrodos precocidos son más caros que la pasta Soderberg, de manera que si podemos cambiarlos por esta corona de pasta estamos abaratando los costes.

En este caso se trataba de simular el comportamiento de este electrodo en sus diferentes aspectos termoeléctricos y termomecánicos. El proceso es como sigue: cada electrodo está rodeado de una corona de cobre por el que entra la corriente eléctrica. Ésta se distribuye por el interior del electrodo y después produce un arco eléctrico en la punta que desencadenará la reacción química de reducción. Uno de los problemas que se plantean es controlar la posición de la isoterma de cocción de la pasta. Si esta isoterma de cocción está demasiado baja, como el electrodo se hace descender periódicamente porque se consume por la punta, corremos el riesgo que la pasta que todavía está líquida, sin cocer, se vierta al exterior. Por otro lado, aunque infrecuentes, a veces se producen roturas del electrodo, originadas por tensiones debidas al peso o a gradientes térmicos.

Con ayuda de la simulación uno puede saber cómo se distribuye la corriente y ver que, por ejemplo, ésta tiene tendencia a entrar hacia el grafito porque es mejor conductor compitiendo de esa forma con el “efecto piel” que era una especie de mito entre los ingenieros del sector, pues creían que el grafito no conducía porque el efecto piel hacía que la corriente se fuese hacia el exterior del electrodo. Esto lo cuento porque puede ser una anécdota representativa del proceso de colaboración con la empresa donde muchas veces la simulación numérica ayuda a eliminar falsas creencias sobre el funcionamiento de los dispositivos.

En esta transparencia se muestra la isoterma de cocción de la pasta y en esta figura vemos las tensiones principales que se producen en la zona de los “nipples”. Este programa ha sido alimentado, previamente, con las temperaturas obtenidas mediante un modelo de transmisión de calor. Aquí podemos ver, por ejemplo, un punto de concentración de tensiones; este resultado está de acuerdo con la experiencia pues buena parte de las roturas de los electrodos se producen a este nivel.

Bien, de este otro tema ya les hablé algo hace un rato. Este es un proyecto que hicimos en el marco del Plan de Investigación y Desarrollo Electrotécnico para la empresa ENDESA, ya hace algunos

años. Su objetivo era simular el proceso de combustión de carbón en la caldera de una Central Térmica. En esta transparencia puede verse una caldera; esta es la zona del hogar donde tiene lugar la combustión del carbón pulverizado y esta especie de dedos son los conductos que desembocan en los quemadores. Nosotros desarrollamos un código de simulación que permite, por ejemplo, representar las velocidades de los gases. Aquí tienen las zonas de entrada de los quemadores y cómo es el flujo en el interior de la caldera. Este flujo va a ser determinante para el reparto de la energía y, por tanto, para la distribución de temperaturas en el interior del hogar. Se pueden obtener transparencias como ésta que representa una sección horizontal a nivel de un piso de quemadores; observen las estructuras complicadas de los flujos, esos torbellinos que se producen, por ejemplo, detrás de los chorros y que pueden suponer zonas de remanso donde, eventualmente, puede haber puntas de temperatura y escoriación. En esta transparencia se pueden ver no sólo las velocidades indicadas por flechas sino también las isotermas, las zonas rojas corresponden a las zonas más calientes. Éste es un caso en que las zonas calientes están hacia el interior y eso significa un buen comportamiento.

También el modelo matemático suministra las concentraciones de las diferentes especies químicas que constituyen los gases; por ejemplo, aquí se representa el dióxido de carbono. Vemos cómo a la entrada los valores en azul son menores y después, en las zonas donde se produce la combustión, aumenta su concentración.

Uno podría plantearse, por ejemplo, ¿qué ocurre si se cambian los caudales de aire en los quemadores? ¿Qué ocurre cuando uno de los quemadores está inactivo? ¿Qué consecuencias tiene para el funcionamiento de la caldera?.

Y ya para terminar, una aplicación en la que también estuvimos involucrados, en este caso para la Consejería de Medio Ambiente de la Xunta de Galicia. Se trataba de estudiar el impacto producido por el vertido a través de emisarios submarinos de aguas residuales de origen

urbano o industrial en las rías gallegas. En esta transparencia pueden verse las corrientes en la ría de Vigo. Con ayuda de estas corrientes, que han sido obtenidas con modelos matemáticos, se puede saber cómo se distribuyen en la ría las sustancias contaminantes. Aquí tenemos resultados de una simulación; en concreto se representa con diferentes colores la concentración de la “demanda bioquímica de oxígeno” producida por vertidos a través de un emisario submarino situado cerca de la ciudad de Vigo. Analizando estas gráficas uno puede saber, por ejemplo, si se alcanzan valores peligrosos en zonas de cultivos marinos, o en zonas de baños.

Este es un ejemplo de simulación numérica. Pero actualmente estamos aplicando también técnicas de teoría de control, a problemas de gestión de plantas de tratamiento. Supongamos que a una ría se vierten simultáneamente aguas residuales desde diferentes puntos porque hay varias poblaciones o varias industrias. Supongamos que cada uno de ellos tiene una planta de tratamiento aneja, con unos costes que pueden ser diferentes en función del tipo de vertido o de la tecnología empleada. Entonces es posible considerar un modelo global para ver cuál es la situación de la ría cuando están todos vertiendo simultáneamente e intentar gestionar el sistema de manera óptima, es decir, establecer una función coste de depuración, y unas restricciones sobre el nivel de contaminación en determinadas zonas y determina cuál es el grado de depuración que hay que hacer en cada planta para que el coste global de tratamiento sea mínimo.

Y ya voy a terminar, porque creo que me he pasado un poco del tiempo asignado, presentando unas conclusiones. Podemos decir que los modelos matemáticos son una herramienta valiosa para la concepción y el diseño de dispositivos y procesos en la industria. Que la ingeniería moderna emplea cada vez más estas técnicas, conocidas a veces bajo el nombre de CAE (Computer Aided Engineering o Ingeniería Asistida por Ordenador). El uso de modelos permite acortar y abaratar el proceso de diseño y, en consecuencia, la salida al mercado de un producto con lo que esto representa de ventaja en una economía competitiva.

Una cuestión importante a la que antes me referí es que la simulación numérica está cada vez más al alcance de las empresas medianas y pequeñas ¿por qué? Pues, esencialmente, porque los ordenadores resultan cada vez más rápidos y menos costosos. Hoy día con un ordenador personal es posible utilizar muchos de los programas de simulación a los que me he referido en esta charla.

Finalmente quisiera decir que los matemáticos pueden colaborar: por una parte, en la escritura de los paquetes informáticos de simulación (porque hemos dicho que ahí lo fundamental son métodos de cálculo para resolver los modelos), pero también en su utilización. Los matemáticos pueden incorporarse a equipos en la industria formados también por ingenieros y físicos, y desempeñar un papel importante en el uso de estas herramientas que a veces, esto es innegable, resultan un poco sofisticadas. Es preciso conocer un poco más que el manejo mecánico del paquete como una caja negra. Los conocimientos básicos que configuran este campo son, por una parte, la modelización, lo que significa esencialmente conocer la física de los medios continuos, y por otra las ecuaciones en derivadas parciales que son los modelos fundamentales en este ámbito. Además, por supuesto, hay que conocer los métodos numéricos para poder resolverlas. Con estos ingredientes tenemos un perfil profesional que puede moverse en este campo y como digo colaborar para el desarrollo de la ingeniería en las industrias.

Y nada más, muchas gracias por vuestra atención.

Pedro Larrea, Presidente del Consejo Social

Bien, muchas gracias, Alfredo. Damos comienzo ahora al debate. Vuelvo a recordar que tenéis por ahí unas hojas para formular preguntas que luego trataremos de ordenar temáticamente a fin de

facilitar las respuestas. Entre tanto, yo querría abrir el fuego haciendo una primera pregunta de tipo muy simple, muy mercantil.

Desde vuestra experiencia en Santiago, ¿cómo se establece el contacto con la industria, es decir, cómo vendéis vuestro producto (en el sentido más noble de la expresión), cómo vendéis vuestras capacidades, vuestro saber hacer, cómo conoce la industria cuáles son vuestras capacidades, habilidades para esa cooperación, para esa ayuda?. En definitiva ¿cómo se establece el vínculo oferta-demanda?

Afredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Matemáticas

La pregunta me parece muy pertinente e interesante, es un tema que yo no he tocado pero ya esperaba que saliese en el debate. Si no recuerdo mal, cada uno de estos proyectos de los que os he hablado ha surgido de manera diferente. Desde luego, con carácter general, puedo decir que ha sido muy importante la existencia de instituciones u organismos de transferencia, como la Fundación Empresa-Universidad Gallega (FEUGA), que supongo que será análoga a otras que existen en esta Comunidad Autónoma, y la Oficina de Transferencia de Tecnología de la Universidad de Santiago.

Por ejemplo, las relaciones con Inespal surgieron a través de FEUGA: los ingenieros de la fábrica de A Coruña ya estaban sensibilizados por estas cuestiones de modelización porque en aquellos momentos todavía había una presencia en la compañía de ALCAN, la empresa de aluminio canadiense, que utilizaba la modelización para el diseño de las cubas. Por tanto, ellos tenían ya una motivación previa, y se dirigieron a la Fundación que entró en contacto con nosotros. Después, también pongo otro ejemplo, las relaciones con Ferroatlántica surgieron indirectamente a partir de la colaboración con Inespal. En un momento dado, la Universidad, ya no recuerdo con qué motivo, puso un stand en una feria donde se mostraban una serie de proyectos, entre ellos el nuestro con Inespal. Casualmente un ingeniero de Ferroatlántica que también sentía la necesidad de hacer estudios del electrodo con técnicas de simulación, vió el stand y se puso en contacto con nosotros.

En otras ocasiones algún colega de la Universidad pasa a trabajar en una industria y nos encarga un proyecto, etc. Yo creo que los caminos son muy variados, pero en líneas generales quiero destacar que todos estos organismos de interfaz desempeñan un papel muy importante.

José A. Jainaga, Director General de SIDENOR

Da la impresión que desde que salieron las calculadoras de bolsillo a los chavales se les ha olvidado multiplicar y dividir. Bueno, se les ha olvidado o no saben ya multiplicar y dividir. Con el desarrollo de la informática y de los ordenadores ahora hay tratamientos matemáticos que están al alcance de todo el mundo, incluso de particulares, pero sin embargo se dicen todos los días barbaridades en los periódicos o en las conversaciones sobre una cosa tan sencilla como es una media aritmética o sobre cuándo la diferencia entre dos medias es significativa o no, etc... y nunca se habla de probabilidades, uno se pregunta: ¿realmente hasta dónde se enseña a la gente?, ¿cómo se puede garantizar que la herramienta no sobrepasa al individuo? es decir, ¿somos capaces de conocer los límites de la herramienta?, ¿sabemos cómo utilizarla?, ¿no estarán contribuyendo los ordenadores a que la gente sea todavía más inculta en temas matemáticos?

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Matemáticas

La pregunta me parece muy interesante porque toca una cuestión clave. Efectivamente nos encontramos con herramientas informáticas, en este caso yo he hablado de herramientas de simulación, que son aparentemente fáciles de usar. Y cuando digo que son fáciles de usar me refiero a que en cursillo de tres o cuatro días la empresa suministradora se compromete a explicar cómo hay que desplegar los menús e introducir los datos, y cómo después obtener unos resultados y visualizarlos. Efectivamente, esto da una imagen de que las cosas son demasiado sencillas. Podemos sacar la impresión de que el ordenador es infalible y de que todos los resultados que produce son correctos y conformes a la realidad. Aquí hay un gran peligro porque estas herramientas no son tan fáciles de utilizar como pudiera parecer a primera vista, al menos si uno quiere obtener resultados fiables.

Realmente es necesario saber un poco lo que hay detrás para poder ser críticos con los resultados. No sirve con que a uno le den un cursillo de una semana para utilizar un paquete de elementos finitos en cálculo estructural, hay que saber qué significa un comportamiento elástico o plástico, un cálculo estático o dinámico o un modelo de contacto; en ese sentido yo creo que la participación de los matemáticos puede ser útil. Los matemáticos en modo alguno van a suplantar a los ingenieros en una empresa, pero sí pueden ayudarles a elegir los modelos, a hacer los cálculos y a criticar y analizar los resultados.

Juan Andrés Legarreta, Director Gerente EUSKOIKER y Profesor de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones de Bilbao, UPV/EHU

¿Se deben incluir dentro de las “matemáticas” áreas como la geometría, informática o estadística?

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Matemáticas

Sí, sí, por supuesto, como indiqué a lo largo de mi intervención yo he hablado de una parcela de la matemática aplicada que es la que conozco; creo que se trata de una parcela muy importante en la ingeniería, pero indudablemente no es la única. La semana pasada con ocasión de una tesis doctoral estuvo por Santiago, un colega ingeniero que trabaja en este campo. Me decía que, en su opinión, el futuro de la modelización en ingeniería pasa por los modelos estocásticos y los criterios de diseño basados en conceptos probabilísticos. En el ámbito de la estadística, el análisis de datos tiene también una gran importancia en la industria. Muchas industrias tienen cantidades ingentes de datos extraídos de sus procesos de producción. Estos datos contienen mucha información, pero hay que desenmascararla mediante tratamientos matemáticos adecuados. De la informática creo que ya he hablado bastante. Es una disciplina imprescindible para el cálculo matemático. Sin ordenadores los modelos no podrían resolverse.

Eva Ferreira, del Departamento de Economía Aplicada III, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales Bilbao, UPV/EHU

¿Qué tipo de equipos de universitarios suelen estar en esos proyectos a los que te has referido, por ejemplo, matemáticos, ingenieros, algún otro grupo más y qué formación tienen los interlocutores en las empresas?

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de compostela, Facultad de Matemáticas

Veamos, en nuestra experiencia, inicialmente hemos organizado equipos dentro del Departamento, por tanto equipos de matemáticos; además, nuestros interlocutores en las empresas han sido ingenieros. Tengo que decir que esto ha sido posible, en alguna medida, porque desde hace tiempo nos hemos preocupado de estudiar física. Si esto no hubiese ocurrido es indudable que desde el primer momento habríamos tenido que contar con nuestros colegas de otras áreas científicas o técnicas. Para establecer el diálogo con la empresa es fundamental tener una idea de los fenómenos que se quieren modelar. Generalmente esto significa saber física, pero si uno quiere colaborar con personas que están en el mundo de las finanzas, pues habrá que saber de finanzas. A este respecto yo pienso que los matemáticos, por el tipo de formación que recibimos, estamos bastante bien preparados para aprender otras materias y esa tarea debemos hacerla porque caso contrario se establece una barrera que impide la comunicación y por tanto la colaboración.

Después, con el proyecto en marcha, necesitamos datos experimentales de los materiales y en ese momento hemos involucrado a personas de otros departamentos de la Universidad. Así por ejemplo, en el proyecto con Ferroatlántica del que les hablé también está trabajando un equipo del Instituto de Cerámica y otro del Área de Electromagnetismo, ambos de la Universidad de Santiago.

Con respecto a la formación de los ingenieros de las empresas, debo decir que, por supuesto, nos hemos encontrado con excelentes

profesionales pero tengo la sensación de que algunos adolecen de un cierto déficit de conocimientos científicos básicos. Yo comprendo que hay que optar y que resulta difícil cubrir al mismo tiempo la enseñanza de conocimientos básicos y otros muy especializados, pero creo que en estos últimos años, con las reformas de planes de estudios, se han descuidado los primeros. Me refiero por ejemplo a que los contenidos de matemáticas y física han tendido a reducirse; yo estoy acostumbrado a trabajar con ingenieros franceses que, como todos sabéis, tiene una formación básica muy sólida, y echo de menos esa formación en España.



Juan Andrés Legarreta, Director Gerente EUSKOIKER y Profesor de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones de Bilbao, UPV/EHU

Me gustaria plantear una observación, y es una cierta discrepancia del aserto anterior suyo cuando decia que “en las Escuelas Técnicas las matemáticas se han convertido más en un elemento de selección que en una herramienta de aprendizaje propiamente dicha”.

En el año 1964 se produjo en España una drástica reforma de las enseñanzas técnicas. Por decisión ministerial, todas las carreras de Ingeniería Superior dejaron de tener los cursos Selectivo e Iniciación más cinco años de carrera y pasaron a tener, como el resto de las licenciaturas, únicamente cinco cursos. Esto supuso, entre otras cosas, una reducción importante en la formación científica básica que necesita un ingeniero. Hasta entonces las Escuelas de Ingenieros en España habían permanecido fieles a la inspiración de las Escuelas Francesas.

A finales de los años 70, unos 15 años después, todas las Escuelas de Ingenieros cambiaron sus planes de estudios de 5 a 6 años de docencia. En esos años se había impartido menos formación tanto en matemáticas como en otras ciencias básicas. Si incluimos la Estadística y la Informática dentro del campo de las matemáticas y tomando como ejemplo el Plan de Estudios de la Escuela de Bilbao, nos encontramos con un incremento en la formación matemática del Ingeniero Industrial que alcanzaba el 28% del total de su formación. A esto se había llegado por el convencimiento del profesorado de la necesidad de una sólida formación matemática en los futuros ingenieros.

El prestigio que han podido alcanzar los ingenieros españoles que han ido por ejemplo a Estados Unidos para realizar cursos de especialización ha estado basado en la preparación científica que tenían y, especialmente, matemática. Y por lo menos en la Escuela de Bilbao y en las Escuelas en las que he estado y conozco, en todas se hace la misma valoración sobre la necesidad de una sólida formación matemática. Yo creo que no se puede mantener el que las matemáticas en las Escuelas se han convertido más en un elemento de selección que en una herramienta fundamental para resolver problemas de ingeniería. Cualquier docente y cualquier ingeniero docente en una Escuela es consciente de la necesidad de la formación matemática porque si no la hay, no puede haber un conocimiento científico y técnico riguroso.

Juán José Anza, del Departamento de Matemática Aplicada, Escuela de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones de Bilbao, UPV/EHU

Soy profesor del Departamento de Matemática Aplicada pero soy ingeniero industrial, lo cual ya significa algo de las cosas que estamos hablando. En este segundo cuatrimestre estoy impartiendo una asignatura que se llama Ampliación de Análisis Numérico, donde lo que tratamos es la resolución de las ecuaciones diferenciales, y la introducción al curso coincide en un 80% con la introducción que ha hecho usted hoy. Es otro dato para saber cómo estamos trabajando puesto que toda esta importante evolución que hay con el tema de ordenadores, etc., también afecta a las Escuelas de Ingeniería.

Los departamentos de matemática aplicada en las Escuelas de Ingenieros para mí son un campo de confluencia de matemáticos y de ingenieros. Cuando hablamos de matemáticas no debemos de pensar solamente en las matemáticas de las Facultades de Ciencias Exactas que son muy importantes sino en las matemáticas que se utilizan como herramienta en otras Escuelas, en otras Facultades, por ejemplo en las Escuelas de Ingeniería. Quizás, también porque otro de los asuntos que se ha tratado hoy es la formación de equipos, y la formación de equipos precisa interlocución, y la interlocución precisa sensibilidad por las cosas, etc. En resumen estoy muy de acuerdo con todo lo que se está diciendo aquí y mi intervención es sólo para ampliar campos, que en estos asuntos estamos mucha gente haciendo estas cosas.

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Matemáticas

Gracias. Me parece muy oportuna vuestra intervención para matizar algo que yo dije con carácter general y que probablemente hoy día ya no sea cierto, como vuestros ejemplos muestran. Yo tengo la impresión, pero, claro, es una impresión que quizás ya esté un poco obsoleta, de que hace algunos años los matemáticos que acudieron a las Escuelas Técnicas a explicar matemáticas lo hicieron de una forma muy parecida a como explicaban las matemáticas en las Facultades. Esto creo que hizo mucho daño, porque cuando hablo con ingenieros de mi edad, o incluso más jóvenes, tienen un recuerdo de aquellas asignaturas de matemáticas como de algo completamente estratosférico,

es decir, algo que ellos no relacionaban con su ingeniería. Sufrieron las matemáticas porque las tenían que sufrir, tenían que aprobar aquellas asignaturas para hacer la carrera y realmente es una experiencia triste que al cabo de los años, cuando interaccionan con nosotros, se den cuenta de que las matemáticas son útiles; entonces se plantean, bueno, ¿por qué estas cosas no nos las contaron? Está claro que hoy día las circunstancias están cambiando y que hay una sensibilidad distinta en el profesorado de matemáticas de las Escuelas Técnicas. Nosotros, por ejemplo, en el Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago, impartimos asignaturas de la Facultad de Química, de la Escuela de Óptica, de la titulación de Ingeniería Química, etc. y hemos hecho un gran esfuerzo por aproximar la docencia a las necesidades reales y a las sensibilidades de estos Centros.

Javier Barrondo, Director de Planificación y Selección de IBERDROLA

No se trata solo de percepción. Hay muchos matemáticos en la enseñanza, incluso en las Escuelas de Ingeniería. En consecuencia se está tendiendo cada vez más a enseñar matemática especulativa en detrimento de la matemática aplicada con la pérdida de imagen asociada.

¿No habría que forzar más la opinión de la Empresa?

¿Qué papel pueden o deben jugar las Fundaciones en la relación Universidad-Empresa?

¿Hasta qué punto falta marketing y comunicación al exterior?

Quería hacer un matiz previo en la línea que estaba marcando el ponente: las asignaturas las hace el profesor, es decir, son un poco a imagen y semejanza de quien las da. El ponente ha dicho algo así como "Que hay una sensación general de que los que estudian matemáticas sólo son para enseñarlas o para crear más matemáticas" Y esto ha sido una realidad, hay un montón de gente de exactas dando clase incluso en las Escuelas de Ingeniería. En consecuencia en las Escuelas de Ingeniería durante unos años se ha hecho una matemática especulativa, una matemática mucho más pura en contra de la matemática aplicada de la ingeniería. En este sentido iba mi pregunta ¿qué podemos hacer? ¿qué piensa el ponente?

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Matemáticas

Pues, yo creo que un papel muy importante. Yo no sé si nuestros amigos aquí presentes de las empresas, conocen la situación de los departamentos universitarios, de matemáticas o de otra cosa, es decir, qué medios tienen, qué misiones se les encargan, etc. Los profesores tenemos que dar clase, eso todo el mundo lo tiene claro, pero en los últimos años se nos piden además otras cosas. Se nos pide que hagamos investigación; incluso parte de nuestro salario está en relación con la investigación que producimos. Pero, además, en los últimos tiempos se nos pide que hagamos transferencia, se nos pide que intentemos acercar la universidad a la sociedad; y casi siempre sin que se nos den los medios necesarios. En muchos departamentos universitarios no existe una secretaría que sirva de soporte cuando, por ejemplo, uno tiene que mecanografiar un documento para presentar a una empresa. Las Universidades, tal vez por el sistema de gobierno que poseen, tienen una gran dificultad para discriminar a la hora de asignar recursos y decir, por ejemplo: “puesto que la misión de la Universidad también es hacer transferencia a las empresas de los resultados de la investigación, entonces vamos a apoyar a los departamentos que la hacen”. Veamos otro ejemplo. Existe un problema serio y es que la asignación de profesores, con todas las excepciones que ahora me podáis relatar, se hace por criterios de docencia exclusivamente; se dota una plaza de profesor en un departamento solo si hay unas horas de docencia por cubrir. Ahora bien, esto es un poco absurdo: si la Universidad tiene una serie de misiones, y modernamente, no sólo la docencia sino la investigación, la transferencia, los desarrollos para las industrias, etc., pues entonces la asignación de recursos tendría que tener en cuenta todas esas misiones.

A mí me parece importante que la Universidad asuma este papel con todas sus consecuencias, si es que realmente cree que debe asumirlo. Yo veo que en este momento ya existe un discurso institucional, que incorpora estas actividades, pero después la política del día a día no lo sigue. Creo que en este sentido el Consejo Social debe hacer una labor para cambiar este tipo de hábitos.

Volviendo al tema de la pregunta, creo que las Fundaciones y los Centros de Transferencia de Tecnología de las universidades son de gran utilidad, pero si se quiere impulsar a los equipos de investigación a trabajar para las empresas hay que dotarlos de recursos singulares siempre que estén dispuestos a hacer el esfuerzo.

Carlos Bertrand y David Maza del Departamento de I+D, SIDENOR

¿En qué medida absorben hoy en las empresas los ingenieros y físicos el papel de los matemáticos? Y en este sentido, ¿qué podrían aportar, realmente de diferencia los matemáticos para convencer a los responsables de selección de personal de las empresas de que tienen que contratar también a este tipo de profesionales?. Otra pregunta más ¿se puede pensar que estamos en un momento en el que las matemáticas se están ya acercando a la fase de diseño industrial a todo nivel (esto tendría que ver con los ejemplos de modelización que has puesto), pero todavía están alejadas del momento del proceso productivo en sí, algo así como el día a día de las operaciones donde todavía se emplea mucho el método de prueba error y seguir funcionando?.

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Matemáticas

Con respecto a lo primero, vamos a ver, es una pregunta un poco difícil de responder y algo comprometedor para mí. Ingenieros, físicos, también matemáticos, bueno... depende. Me explico: un físico que tenga una buena preparación en matemáticas, como generalmente tiene una buena preparación en modelización, es indudable que puede hacer un gran papel. Ahora, yo tengo alguna experiencia en manejar paquetes de simulación, por ejemplo en mecánica de fluidos o en mecánica de sólidos no lineal, bueno y existen aspectos realmente sofisticados que uno necesita conocer cuando utilice ese paquete; me refiero a los que tienen que ver con los algoritmos numéricos, con el proceso de cálculo; para éstos, en principio, los matemáticos están mejor preparados.

Pero esta pregunta me lleva también a plantear otro tema que de alguna forma esboqué en mi exposición: ¿es adecuada la formación que le damos a los matemáticos en las Facultades? Yo estoy convencido de que los matemáticos pueden jugar un papel complementario del de los ingenieros o los físicos en temas como la simulación numérica donde el cálculo es fundamental, pero siempre y cuando en las Facultades de Matemáticas se haga un esfuerzo por adaptar los planes de estudio. Si queremos colocar a los matemáticos en este sector es necesario que los planes de estudio incluyan, por ejemplo, la mecánica de los medios continuos o el electromagnetismo. En este sentido, por si puede servir de ejemplo, puedo contaros nuestra experiencia en la Universidad de Santiago. Hace unos 8 años creamos una especialidad que se llama “matemática aplicada” y que pretende formar profesionales en el campo de la modelización matemática en ingeniería y que incluye entre sus asignaturas estas materias. Si ustedes me hablan de matemáticos que no conocen los modelos de la mecánica, la transferencia de calor, etc. probablemente sea preferible incorporar físicos o ingenieros, pero si me hablan de matemáticos que tiene conocimientos de modelización e informática, entonces creo que tenemos un profesional realmente interesante para las empresas. En este sentido también lanzaría un mensaje a mis colegas matemáticos: en mi opinión sería muy conveniente que este aspecto de la matemática como herramienta de modelización se incorporase a toda la enseñanza desde el principio, es decir, que cuando uno está explicando en los primeros cursos de la carrera los teoremas de existencias de las ecuaciones diferenciales, también se informe a los estudiantes de que ciertas ecuaciones diferenciales son modelos para un circuito eléctrico o un sistema mecánico, etc.

Josu Sagastagoitia, Director Gerente de Metro Bilbao

¿Cuál sería la aportación de un matemático a una empresa de servicios tan concreta como puede ser una empresa de explotación ferroviaria, un metro como el metro de Bilbao?. ¿Qué es lo que puede aportar un matemático, en un caso como éste?.

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Matemáticas

Voy a atreverme a contestar aunque intuyo que el campo de aplicación, en este caso al Metro, no es precisamente en el que yo trabajo. Indudablemente hay unas disciplinas, relacionadas con la matemática discreta, teoría de colas, transporte, programación entera, teoría de grafos, etc. que suelen incluirse en la llamada “investigación operativa”, y que son adecuadas para todos los problemas de optimización de rutas, de gestión de coches, etc. que pueda haber en el Metro, es decir, sin lugar a dudas un experto en estadística e investigación operativa sería muy conveniente en una empresa como la suya de explotación de un sistema de transporte.

Antonio Corral, Director de Área, Consultora IKEI

¿Hacia dónde se dirige hoy la investigación matemática? ¿Qué tipo de problemas se tratan de resolver? ¿No ocurre que la investigación tecnológica es la que está marcando el camino?

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Matemáticas

Es una pregunta que como “matemático aplicado” me resulta difícil de contestar. Yo puedo hablar de investigaciones en curso en torno a los modelos, a las ecuaciones en derivadas parciales, a los métodos numéricos, temas en los que en estos últimos años hay una gran actividad, pero las fronteras de la investigación matemática más innovadora tal vez estén en otros campos, más relacionados con la topología o con el álgebra. En ese sentido, con motivo del Año Mundial, se encargó a un Comité que estableciese un listado de problemas que presumiblemente van a ocupar el quehacer de los matemáticos en este siglo; algo análogo a lo que hizo Hilbert en el famoso Congreso de principios del siglo XX. Ahí figuran una serie de problemas abiertos alguno ya propuesto por Hilbert, y todavía sin cerrar. Son problemas que se encuadrarían en la matemática pura y ahora aprovecho, ya que

hemos hablado tanto de la matemática aplicada, para decir que la sociedad no debe olvidarse de la investigación básica, porque la investigación básica de hoy es la base para la investigación aplicada del futuro. Cuestiones que en principio han sido de lo más abstracto y alejado de la realidad, con el paso del tiempo han tenido aplicaciones muy importantes. Pensemos en temas de teoría de números, de criptología que hoy en día se utilizan en las telecomunicaciones y que aparecieron en el ámbito de la matemática pura; campos como la teoría de grupos, o la geometría de Riemann, que ha sido tan importante para la teoría de la relatividad; en resumen, la investigación básica hay que mantenerla y el llamamiento que hago a mis colegas de las Facultades es que intenten preservarla a toda costa. Es necesario que en los planes de estudio haya una vía para que la gente pueda al acabar hacer una investigación matemática de altura. Ese es un objetivo al que no debemos renunciar. Yo creo que el problema es encontrar un equilibrio: la sociedad nos exige que al mismo tiempo que financia esa investigación básica, que va a tener unos retornos a más largo plazo, obtenga resultados a más corto plazo para algunas demandas del día a día. Creo que muchas veces a los matemáticos nos ha faltado esa capacidad para acercarse a problemas que a lo mejor desde ciertas corrientes se consideraban secundarios, de segunda fila, porque estaban más relacionados con el cálculo y menos, a lo mejor con las teorías abstractas y porque resultaban menos interesantes desde el punto de vista de la investigación. Insisto, pienso que es una cuestión de equilibrio y ese equilibrio también lo deben recoger los planes de estudios.



Pedro M^a Altuna, Miembro del Consejo Social en representación de ELA

¿Hasta qué punto cuando la Administración o las grandes empresas anuncian sus previsiones económicas sobre el IPC, magnitudes macro, crecimientos, beneficios, etc. hay rigor matemático detrás de todo eso o más bien se hace con criterios propagandísticos?.

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de compostela, Facultad de Matemáticas

Es una pregunta a la que yo no le puedo responder. Está claro que los modelos econométricos, son fundamentales para la predicción económica y estoy seguro de que en el Ministerio de Economía se utilizan con mucha frecuencia, o en el Banco de España, etc. etc., eso es indudable. Ahora bien, es obvio que los resultados que proporciona un modelo matemático dependen de los datos con que se alimenta, tanto en el caso de la ingeniería como en el caso de la economía: si uno está haciendo el cálculo de una estructura y resulta que introduce mal el módulo de Young del material, las tensiones que calcule el modelo serán incorrectas. Y esto ocurre igual en la economía. Evidentemente el hecho de que este tipo de técnicas estén muy distantes de los conocimientos habituales de los ciudadanos, permite que sean más manipulables. Y a veces diciendo “No, no, porque esto lo dice el modelo X”. El modelo X no es un absoluto, depende de cómo lo haya utilizado.

*Luis Vega, Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias, UPV/
EHU*

A propósito del tratamiento de datos en las empresas, ¿es verdad que hay carencias?, ¿cómo se podrían solventar?

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Matemáticas

En este tema del tratamiento de datos yo antes os contaba la experiencia que tuve con Ferroatlántica. Su director me dijo en una ocasión: "Mira yo tengo aquí muchos datos obtenidos día a día en la planta, estoy convencido de que esos datos encierran mucha información, pero no sé cómo extraerla; intuyo que eso es una labor de matemáticos, tu qué opinas?" Yo les puse en contacto con colegas del Departamento de Estadística y elaboraron un proyecto que en este momento ya está dando resultados. Creo que este tema del análisis de datos es común a muchas empresas industriales y no siempre se sabe que hay unos profesionales con conocimientos para extraer información a través del análisis de esos datos. Por supuesto también en las Administraciones Públicas. Así, por ejemplo, actualmente se están empleando estadísticos en los hospitales para el tratamiento de datos. No sé si esto responde a tu pregunta, Luis...

*Luis Vega, Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias, UPV/
EHU*

Me gustaría preguntar a los empresarios que hay aquí, si esto es una realidad o es algo que nos imaginamos y también qué es lo que demandan.

Agustín Berasaluce, Subdirector General del Departamento de Investigación Comercial, BBVA

Yo puedo contestar a esa pregunta. Nosotros tenemos mucha información del comportamiento de nuestros clientes y de cómo operan

con nosotros, por qué canales, qué productos, y evidentemente es una labor muy importante. Yo creo que todos estos temas son muy importantes para muchas industrias, en general, y para todas aquellas en particular que tiene muchos clientes; para todas las empresas de servicios, desde servicios financieros, hasta servicios de telefonía por ejemplo. Yo creo que todas aquellas empresas que tienen muchos clientes y prestan servicios, estamos en un grado de desarrollo intermedio y a mí una cosa que también me extraña de este tema es que todos los softwares, todas las sistemáticas de análisis para usuarios de datos, son extranjeras y normalmente americanas. Es decir, esto es algo que está viniendo de otros países y nosotros estamos utilizándola como usuarios y con desarrollos internos salvo algunas cosas específicas que estén haciendo, que estén haciendo ad hoc para alguna empresa. Pero no se sabe, es un poco una visión del tema.

Yo lo que quería preguntar es si el papel de las matemáticas en la empresa aumenta, pues yo creo tenemos las empresas que contratar muchos más matemáticos y eso era un poco también se solapa alguna pregunta que ha habido antes de cómo se posicionan los licenciados matemáticos porque creo que mucha de la exposición se está haciendo muy dirigida hacia la investigación o hacia, digamos, la gente que se dedica a investigar dentro de la Universidad, pero un licenciado de la Universidad con muchas inquietudes y muchas lagunas respecto a lo que es el mundo de la empresa.

Para que se contraten más matemáticos yo creo que la propia Universidad debe posicionar a sus individuos, no sé, hacia áreas concretas. La pregunta concreta era: ahora hay un boom de determinados sectores, la nueva economía, internet, los mercados financieros, son sectores que están demandando bastante análisis numérico, cualitativo y también bastante sofisticado y a mí me gustaría saber si, en conjunto, hay un planteamiento de la ciencia matemática, decir, ¡joye!, mis licenciados que salen de aquí van a estar bien posicionados en estas áreas y van a poder competir con los físicos, los economistas o lo que sea. ¿Cómo se plantea la propia Universidad que sus licenciados puedan estar presentes en todo este mundo de la nueva economía?.

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Matemáticas

Bueno, como la pregunta es muy general pediría que otros colegas interviniesen. Yo voy a referirme a dos aspectos que has tocado. Por un lado, la parte relacionada con la informática. Todos sabéis que en España existe una titulación de Ingeniería Informática, pero también hay otras ingenierías que están muy cerca de la informática y sobre todo de las comunicaciones; me refiero naturalmente a la Ingeniería de Telecomunicación. También físicos y matemáticos tienen en sus planes de estudio varias asignaturas de informática donde los estudiantes aprenden lenguajes de programación, sistemas operativos, informática gráfica, etc. Por tanto es éste un campo donde los matemáticos pueden competir perfectamente con otros titulados, incluidos los titulados de informática.

Después tocaste un campo que es el de las modernas finanzas donde yo sinceramente creo que tenemos ventaja frente a otros titulados. Creo que en temas como la gestión de riesgo, de las carteras, la evaluación de los productos financieros “derivados”, todos ellos tan importantes hoy día, se requieren matemáticas y matemáticas nada sencillas que incluso superan los contenidos que se imparten en la Licenciatura. Un estudio a fondo de estas cuestiones pasa por la teoría de la probabilidad, los procesos estocásticos, las ecuaciones en derivadas parciales y su resolución numérica, etc. Estos temas son, de principio a fin, matemáticos, por eso creo que los matemáticos tienen ventaja incluso frente a los economistas que, en general, tienen una formación matemática probablemente suficiente para lo que era el contexto tradicional de la carrera de económicas pero creo que demasiado escasa para abordar este tipo de problemas. Una anécdota a este respecto, en Inglaterra hay grupos de matemáticos que estaban haciendo investigación en mecánica de fluidos que se han pasado a trabajar en matemática financiera; ¿por qué?, pues en buena medida porque esas ecuaciones de la mecánica de fluidos, son prácticamente las mismas que aparecen a la hora de valorar una “opción”. Me comentaba un colega francés, de la Universidad de Lyon, que daba un curso de modelización en física e ingeniería y que un año incorporó

tímidamente unas cuantas lecciones sobre matemática financiera. Pues bien, de la noche a la mañana, no sólo se incrementó el número de sus alumnos sino que empezó a ver como los titulados, se empezaban a colocar en la banca.

Mikel Lezaun, Director del Departamento de Matemática Aplicada y Estadística e Investigación Operativa, Facultad de Ciencias, UPV/EHU y Coordinador del Comité en el País Vasco para la celebración del Año Mundial de las Matemáticas

Quisiera hacer algunos comentarios desde mi perspectiva como profesor de la Facultad de Ciencias.

En la exposición que nos ha hecho Alfredo, las colaboraciones industriales que ha presentado, son con grandes empresas y se puede llegar a pensar que estos proyectos sólo pueden hacerlos estas empresas de gran tamaño. Sin embargo, yo creo que hay muchas posibilidades de colaboración y de participación, también, en proyectos con pequeñas empresas y esto dentro del Programa Nacional de I+D. En este sentido, nosotros tenemos una experiencia de colaboración con una empresa de ingeniería agroalimentaria que, entre otras actividades, desarrolla tecnología para el cultivo hidropónico en invernadero. Esta empresa de ingeniería es INKOA y en el proyecto también participa un centro de investigación agraria, NEIKER, y una empresa productora, BARRENETXE, S. Coop.

En este proyecto, efectivamente, ha habido que hacer una modelización del clima en un invernadero siguiendo todos los pasos que ha comentado Alfredo. Se han identificado las variables climáticas controlables (radiación solar, humedad, temperatura), a partir de ellas se ha establecido un modelo matemático para el cálculo de la evapotranspiración, se ha pasado luego a identificar la situación óptima del cultivo (desarrollo más o menos rápido) y se ha establecido un mecanismo de control de las variables para dirigir el cultivo en el sentido deseado. Además, ha habido que modelizar el comportamiento del sustrato en lo que respecta a la retención de agua, para así precisar la dosis de riego. Todo este proceso ha habido que completarlo con un cálculo experimental de las variables de cultivo (superficie foliar, LAI),

según la edad, tipo o época del cultivo. Bien, aquí tenemos un ejemplo concreto de colaboración con una empresa pequeña dentro del Programa I+D y en él se observa la importancia de las matemáticas en un dominio que podría parecer lejano, como es el del cultivo en invernadero. El resultado de todo esto ha sido un paquete informático y una serie de mecanismos físicos de control del clima (de la temperatura, la humedad, la radiación solar) y del riego en un cultivo hidropónico en invernadero, que ya está en el mercado.

Otro aspecto que quisiera resaltar es que desde las matemáticas no podemos presentar proyectos propios de I+D, sino que tenemos que participar en proyectos que tienen que plantearse desde las empresas. Hay que resaltar que su desarrollo y resolución será muy productivo para todas las partes.

Pasemos ahora a la Estadística. Nosotros estamos convencidos que muchas grandes empresas y la Administración tienen montones de datos y no los utilizan, no extraen la información contenida en ellos. En concreto, hemos tenido relaciones con Sanidad y Osakidetza y en muchos casos ocurre así. Por ejemplo, recogen datos de contaminación en las playas y estos casi van al cajón, como mucho hacen un recuento. Lo mismo podemos decir de campañas de salud dental de los escolares de los años tal, tal y tal, los datos están en un cajón. Nos parece que esto mismo ocurre en grandes empresas. En este sentido, me parece oportuno indicar que nuestro Departamento ha establecido una colaboración permanente con Osakidetza, en concreto con el Hospital de Cruces y el Hospital de Galdácano. Esta colaboración no es sólo para tratar los datos que ya tienen, sino también para el diseño de experimentos. Muchas veces el propio experimento está mal diseñado ya que puede que el tamaño de la muestra no sea el adecuado, o que no se hagan las preguntas pertinentes, o que no se obtengan los datos adecuados para poder extraer la información que hay detrás. Tengo que notar que una de las responsables, Arantza Urkaregi, está aquí presente.

Por último está el aspecto de la matemática financiera, que nosotros no lo tocamos. Ahora bien, hay compañeros de Sarriko que están trabajando en este dominio y que tienen relaciones con instituciones financieras.

Resumiendo, nos parece que también en empresas pequeñas hay necesidad de matemáticas y que éstas son las que tienen que empezar dando pasos para localizar y perfilar las posibles aportaciones de las matemáticas en sus proyectos de I+D. Todo ello pasa por un conocimiento mutuo de la Universidad y el mundo empresarial.



Arantza Urkaregi, Departamento Matemática Aplicada, Estadística e Inv. Op., Facultad de Ciencias, UPV/EHU y Miembro del Consejo Social

Volviendo al tema de análisis de datos, ¿No crees que se puede plantear el mismo problema que antes se ha planteado con los paquetes de simulación?. Dado que hay paquetes estadísticos, existe la idea de que cualquier persona, ingeniero, economista, etc. puede utilizarlos y sin embargo, para realizar un buen análisis de datos, es necesaria buena formación en estadística.

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de compostela, Facultad de Matemáticas

Totalmente de acuerdo. Creo que lo que antes decía con carácter general, se aplica indudablemente al caso de los paquetes de análisis de datos, de los paquetes estadísticos. Utilizar un paquete es una cosa y hacerlo con capacidad crítica y con conocimiento de causa otra muy

distinta; esto último requiere unos conocimientos muy importantes. No hay que confundir la facilidad en el uso formal de un paquete, con un conocimiento fundamentado de lo que está haciendo y de cómo lo está haciendo. Sólo de esta forma se puede hacer una utilización adecuada, es decir, fiable.



Javier Duoandikoetxea, Director del Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias, UPV/EHU y del Comité Organizador para la celebración del Año Mundial de las Matemáticas en el País Vasco

Quisiera intervenir ya que antes Alfredo ha pedido la colaboración de otros colegas académicos en las respuestas.

Mencionaré un par de cosas que se han dicho hace un momento y que me parecen interesantes. Se ha dicho que la formación de los matemáticos, de lo que específicamente se llaman matemáticos, que son los licenciados en matemáticas, es más bien teórica y también se ha indicado que el papel de las matemáticas en la empresa no sólo viene, y no sólo tiene que venir, de los licenciados en matemáticas.

Es verdad y es una tradición de muchos años que la carrera de matemáticas está sobre todo dedicada a la enseñanza. Una de las razones fundamentales es que la enseñanza demandaba muchos licenciados y eran muchos los que se colocaban, así que todos

entrábamos en la Facultad con ese objetivo y no con vistas a un trabajo en la industria o en otro lugar. La formación ha sido muy teórica y cuando se ha desarrollado la posibilidad de investigación en matemáticas, que ha tenido un gran avance en España durante los últimos 20 años, seguimos reproduciendo el mismo esquema porque también la investigación matemática en la universidad ha sido más bien teórica. Pero ahora estamos en una situación en la que soplan vientos de cambio, sobre todo por necesidad, porque la enseñanza ya no absorbe tanto ni mucho menos. Y es una realidad que últimamente los licenciados en matemáticas han encontrado salidas distintas de la enseñanza, pero son casi siempre ante un ordenador y no trabajando directamente en matemáticas.

¿Va a producir la situación actual del mercado un cambio real en los planes de estudio?. Hace unos días, este fin de semana concretamente, ha habido una reunión de directores y de decanos de matemáticas en Santiago y era frecuente oír propuestas en esta línea, pero yo no veo que se vaya a producir a corto plazo una evolución drástica de la carrera de matemáticas. Puede haber alguna especialidad más acercada a las aplicaciones, pero se seguirá formando a la gente sobre todo en el aspecto teórico. Yo creo que existe una diferencia fundamental en la actitud de los estudiantes desde la propia entrada, el que entra en la Escuela de Ingenieros piensa que cuando termine la carrera va a ser ingeniero, el que entra a una licenciatura de matemáticas todavía posiblemente piense que va a enseñar matemáticas o algo parecido, pero no entra con la mentalidad de que se va a formar para después estar en la industria, o en una empresa, o en un banco, o en otro lugar. Seguramente tenemos que conseguir cambiar ese punto de vista para cambiar la carrera, aunque se puede discutir cuál de las dos cosas debe venir antes. Mirado desde los departamentos de matemáticas que estamos en Facultades de Ciencias formando matemáticos, una dificultad es que tendríamos que hacer los cambios personas que hemos sido formados al estilo tradicional y hay poca gente en los departamentos tiene un conocimiento de los problemas prácticos como los que ha presentado Alfredo Bermúdez de Castro. Es decir, todavía puede haber muchos profesores que se sientan más cómodos en una situación como la actual.

Entonces, ¿qué puede pasar? ¿hay salidas posibles para este problema?. En algunos sitios se están haciendo experiencias de formación de postgrado que son muy importantes y prometedoras. Seguiremos formando matemáticos teóricos y además es interesante que exista esta formación básica porque corremos el peligro que indicaba al principio el representante de SIDENOR, de que lo mismo que ahora la gente parece haber olvidado a multiplicar por culpa de las calculadoras, si no tiene una formación básica no sepa interpretar lo que dan los aparatos. Ahora bien, después de recibir la formación básica se pueden aprender muy rápido y en poco tiempo cosas más específicas. Ya hay experiencias iniciales, por ejemplo, en matemáticas financieras en las que hay masters con bastante participación y con implicación de los bancos. En Barcelona hay uno en la Universidad Autónoma que este año tiene 25 estudiantes, pero además hay bancos dispuestos a contratar durante 4 meses en prácticas a las 25 personas inscritas y pagarles el equivalente a lo que cuesta el master. En la misma universidad se está haciendo este año por primera vez una experiencia parecida con un master de matemáticas aplicadas a la industria y ahí también hay industrias que se comprometen a recoger durante un período a las personas que realizan esa formación de postgrado y pagarles el tiempo de prácticas de modo que recuperen la inversión inicial del master. Así que también hay una implicación directamente por parte de la industria. Creo que en este tipo de formaciones de postgrado destinadas a estudiantes de matemáticas los departamentos de matemáticas tendremos una participación posiblemente pequeña porque la preparación teórica ya se la hemos dado antes. Ahí es donde deberían intervenir desde Departamentos de Economía o Departamentos de Ingeniería hasta profesionales de fuera de la Universidad que pueda presentar el aspecto práctico de cómo se trabaja en la industria, en la empresa, en las finanzas, etc. Porque, insisto, los alumnos que entran a la carrera de matemáticas no suelen tener como objetivo este tipo de actividad y, si ven que hay nuevos caminos, los estudiantes ya podrían entrar con esa mentalidad. En algún momento se podrá pensar que la profesión de matemáticas sirve para algo que no sea dar clase.

Y para terminar otro comentario: ¿quién es el que le da prestigio a la matemática? Antes, se ha hablado de los planes de estudio de

escuelas técnicas y ha habido una pequeña discusión de si las matemáticas eran sólo para seleccionar o servían para otra cosa y de si se habían rebajado o no las exigencias. Yo no voy a poner un ejemplo de los ingenieros, que están en un departamento distinto del nuestro, hablaré de nuestra Facultad. Nosotros, en la Facultad de Ciencias, además de a los matemáticos damos clase a físicos, químicos, biólogos y geólogos. En biología es un hecho evidente que las matemáticas se han reducido y se han reducido drásticamente, la formación matemática de un biólogo es muy escasa y los alumnos de biología, en realidad, estarían muy contentos si incluso quitásemos ese poquito. ¿Por qué? Porque los profesores de biología o los biólogos profesionales, que son los que después deberían utilizar las matemáticas, o no ven la necesidad, o no la tienen, o por lo menos no la prestigian suficientemente. Es verdad que hemos estado enseñando muy mal esos cursos porque hemos estado dando un punto de vista demasiado teórico, inadecuado para los biólogos. Pero si hay necesidad de matemáticas, el biólogo profesional debería hacérselo sentir al alumno y él mismo o el alumno debería venir a nosotros y decirnos que el curso está mal dado pero que necesitan ese curso bien hecho.

Volviendo a los ingenieros, yo creo que la cuestión no es tanto, cuántas matemáticas enseñan los profesores de matemáticas en Ingenieros, sino cuántas matemáticas utilizan los ingenieros que no son profesores de matemáticas. Ellos deberían decir a los profesores de matemáticas “Esto es lo que queremos que enseñéis” y además decirle al alumno “Esta es la matemática que yo utilizo y esa es la que quiero que sepas y además, aprende mucha más, porque si sabes más matemática que yo, seguramente, podrás utilizarlas mejor”.

Lourdes Llorens, Directora del Instituto Vasco de Estadística EUSTAT

Me gustaría por alusiones, hablar un poquito de lo que has comentado sobre la información; sobre la cantidad de información que existe en el Gobierno. Realmente, hay muchísima información, obviamente está organizada para utilizar no solamente en la Universidad, sino en el propio Gobierno; para hacer política. Pero a mí me gustaría echar un poquito en cara a la Universidad que dedica muchos de sus esfuerzos a la investigación teórica. En el Instituto llevamos 17 ó 18

años recogiendo información, tenemos una cantidad de información impresionante y creo que se usa muy poco. Se usa muy poco por parte de la Universidad y yo animo desde aquí, a utilizarla más. Quizás sea culpa nuestra; que nosotros no sabemos vendernos; que no sabemos vender nuestra información, pero creo que la Universidad, en concreto las Facultades de Económicas y de Matemáticas, la usan muy poco, y yo creo que el tema los modelos de simulación necesitan datos. Muchas gracias.

Luis Vega, Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias, UPV/EHU

¿Cómo es de grave que en gran medida el software sea extranjero?.

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Matemáticas

Este tema siempre me ha interesado y sobre el que he reflexionado un poco. Concretamente me he preguntado cómo un país como Francia, con una investigación científica y tecnológica muy sólida, y de larga tradición, apenas ha producido software de simulación comercial. Como todos sabéis Francia es un país que tiene un gran nivel en matemáticas, y donde esta disciplina que tiene un enorme prestigio social. Por cierto, ese prestigio social en buena medida viene del hecho de que las matemáticas son la puerta para entrar en las “Grandes Écoles”, lo que permite alcanzar los puestos más elevados en la escala social. Es un país donde existe una gran inversión en investigación matemática, en matemática pura, y en matemática aplicada, hay medallas Fields, en fin, es una de las grandes potencias mundiales, probablemente sea el segundo país del mundo. Sin embargo, en este campo de la simulación Francia no ha producido apenas grandes paquetes comerciales; como antes se decía la mayoría de los paquetes son norteamericanos. Por lo tanto, no hay una correlación entre potencial matemático y software, y eso es porque hay otros elementos que juegan, que son de política científica y también culturales. Muchos de los

paquetes comerciales de simulación numérica, estoy pensando en paquetes de mecánica de fluidos o paquetes de cálculo estructural con elementos finitos, han surgido de grupos universitarios, de departamentos que en un momento dado desarrollaron una investigación en el campo que les llevó a generar software como un subproducto. En un momento dado, miembros de ese grupo dan un salto y crean una empresa para hacer la comercialización de ese software. Porque, efectivamente, hay un salto cualitativo, no es lo mismo estar desarrollando códigos de cálculo simplemente para ilustrar con ejemplos numéricos las publicaciones en revistas, que hacer un producto que hay que vender. Bien, pues este salto en países como Gran Bretaña o Estados Unidos se ha hecho, pero mucho menos en otros como Francia o España, y yo creo que tiene que ver con una cierta cultura de los países anglosajones que proporciona una mayor permeabilidad entre los ámbitos de lo público y de lo privado. Por eso no se ve mal que miembros de un grupo universitario, creen una empresa y, con todos los mecanismos de transparencia que sean necesarios, acabe comercializando un producto que han desarrollado, en una primera etapa, en el seno de la Universidad. En los años 80, el INRIA, (Instituto Nacional de Informática y Automática de Francia), se planteó potenciar el trasvase de sus resultados de investigación al sector productivo y entonces creó empresas filiales; pero estas empresas no las crearon los investigadores sino el Instituto como tal; fueron creadas “desde arriba” y, en cierto modo, como cualesquiera otras, con participación de sociedades de capital riesgo, de bancos, etc. de manera que se constituyeron como estructuras separadas, sobre todo de los investigadores. Ésta característica hizo que la experiencia no fuera del todo positiva, al menos en el ámbito de la simulación numérica que es el que más conozco de cerca.

El resultado es que, en este momento, un país como Francia, que ha desarrollado una investigación en el campo de la mecánica de fluidos computacional de primera magnitud, donde grupos de investigación muy solventes han desarrollado códigos para AEROSPATIALE, para Avions Marcel Dassault, etc., no ha conseguido competir en el mercado con códigos que han surgido en universidades inglesas o norteamericanas. Después está el problema del mercado. Estos productos requieren desarrollos muy costosos, pero también

mantenimiento y actualización porque enseguida resultan obsoletos, y también formación y soporte a los clientes, porque son difíciles de utilizar. Por lo tanto es necesario trabajar con vistas a todo el mercado mundial. Tal es el caso de FUENT, un paquete de mecánica de fluidos norteamericano, que en este momento tiene sus clientes repartidos a partes iguales entre Asia, Europa y América.

Esto que digo es para el mercado de los grandes paquetes de propósito general, pero hay otro mercado que es el de los pequeños paquetes, o mejor el de las aplicaciones a la carta para resolver necesidades concretas de las empresas. Yo creo que los departamentos de las universidades, en particular los de matemáticas, pueden desarrollar una labor interesante en este terreno, haciendo programas de simulación, que no resuelve todos los problemas del mundo, pero que dan una respuesta mucho más ajustada a necesidades concretas.

José Antonio Lozano, Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, Facultad de Informática, UPV/EHU

¿Cuál es la sensación del ponente acerca de la disponibilidad de la empresa a colaborar con la Universidad?. Hacía esta pregunta por lo siguiente, nosotros hemos colaborado con diferentes empresas de mayor o menor tamaño en cuestión de optimización o análisis de datos y la sensación que a uno le queda es que es difícil colaborar con las empresas, en el sentido de que no se las ve muy dispuestas a ello. Parece que tienen un cierto reparo a colaborar con la Universidad y están más orientadas a resolver los problemas del día a día que a trabajar en cosas cuyo beneficio a veces no está claro. Esa es la pregunta más o menos.

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de compostela, Facultad de Matemáticas

Yo creo que en general existe una cierta desconfianza sobre el interés de colaborar con la Universidad, probablemente porque en algunos momentos han podido existir experiencias negativas. Antes

comentábamos que ahora en los discursos institucionales, cualquier rector asume que esto de la transferencia tecnológica es un tema muy importante para la Universidad, para su financiación y para la mejora de su imagen en la sociedad; pero esto es relativamente reciente y muchos departamentos todavía no disponen de infraestructura, o bien tienen una excesiva carga de trabajo, docente, investigadora, burocrática, etc., y esto les impide dar una respuesta adecuada a las empresas. Pero creo que la situación está cambiando rápidamente y cada vez es mayor la credibilidad de que gozan entre las empresas algunos grupos universitarios.

Después hay otra cuestión que ya atañe más a las empresas: tengo la impresión de que se camina hacia un modelo en el que las empresas, incluso la grandes, no tengan que tener grandes departamentos de investigación y desarrollo. Incluso en países donde hay una gran tradición de innovación y por tanto de investigación tecnológica se camina en la dirección de encargar la investigación, e incluso el desarrollo, a Institutos y Universidades. De nuevo un ejemplo francés: como sabéis Electricidad de Francia es una empresa estatal de producción y distribución de energía que tiene en su interior un gran centro de investigación cubriendo disciplinas científicas diversas, desde la combustión al electromagnetismo, pasando por la hidráulica. Pues parece que la tendencia es a ir cambiando el modelo, reduciéndolo. Así por ejemplo, el Laboratorio Nacional de Hidráulica, que pertenecía a EDF, ha dejado de existir como tal recientemente. Yo no sé si esto es bueno o malo, pero en todo caso parece que es algo impuesto por las nuevas corrientes de la economía globalizada y está claro que es una tendencia que puede favorecer el desarrollo de la investigación en la Universidad. Aún así es imprescindible, que las empresas destinen a alguna persona para detectar y canalizar sus necesidades de I+D a las Universidades y Centros de Investigación y después asumir la interlocución con los investigadores. Además esta persona debería encargarse de una misión importante para la empresa: conseguir fondos públicos para financiar los proyectos de I+D. Como todos sabéis, tanto el Gobierno Central como las Comunidades Autónomas tienen programas para este fin, aparte de las exenciones fiscales que permiten rebajar la cuota del impuesto de sociedades entre un 30 y un 50 por ciento de los gastos en I+D.

Un caso que responde a este modelo y que está funcionando muy bien, es el de Ferroatlántica. Este grupo constituyó hace algunos años una empresa llamada Ferroatlántica I+D, para desarrollar y comercializar la tecnología que va produciendo en torno a la metalurgia del silicio y de las ferroaleaciones. En particular Ferroatlántica I+D se dedica a mejorar y a comercializar el electrodo ELSA del que os hablé. Para ello establecen relaciones con grupos universitarios con los que contratan trabajos de investigación que tienen por objeto mejorarlo.

Juán José Anza, del Departamento de Matemática Aplicada, Escuela de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones de Bilbao, UPV/EHU

...en línea con lo que está explicando el profesor Bermúdez, me gustaría poner un ejemplo: sobre los equipos de investigación, la interacción Empresa-Universidad, Centros Tecnológicos, etc. que no solamente tiene que ver con la matemática aplicada, sino probablemente con el problema global de I+D, etc. Tengo una experiencia de 5 años trabajando en un Centro Tecnológico que está hoy aquí representado también y tuve en el 94 una experiencia en un proyecto europeo que voy a contar. Este proyecto europeo era en el seno de la CECA y la empresa que lideraba el proyecto era ARBED, que creo que ahora también está aquí en el País Vasco, y funcionaba de la siguiente manera: ARBED tenía un pequeño departamento de I+D, orientado al campo que abarcaba este proyecto que eran fluidos, estructuras, etc. y en ese departamento de I+D había un jefe y dos ingenieros jóvenes que trabajaban. Entonces, ARBED acudía a los proyectos de la CECA, extraía proyectos que tenían para ellos interés tecnológico, definía las especificaciones, lo que quería sacar de esos proyectos y entonces formaba un equipo donde había Centros Tecnológicos y Universidad. El núcleo fuerte de trabajo lo hacían los Centros Tecnológicos y a la Universidad en parte la tenían como consultores. Es decir, el Centro Tecnológico está organizado más como empresa, tiene más mano de obra, sin embargo, en el día a día muchas veces el Centro Tecnológico no le permite profundizar, eso se hace en las Universidades, en tesis doctorales, etc. A mí me parece que fueron proyectos que funcionaron muy bien, yo no los acabé, y precisamente la persona que los acabó del Centro Tecnológico, está también aquí, y

podría, comentar algo al respecto, es Fernando Espiga de LABEIN. Me parece muy importante saber hacer equipos, y esa cultura no existe, no existe en el I+D en España. Desde la Universidad queremos hacer todo, queremos coger un proyecto, le decimos a la empresa que podemos solucionarle cualquier cosa y luego, al final, hay decepción. A veces, los Centros Tecnológicos dicen que son capaces de hacer investigación básica y tampoco. Y hay otro elemento importante que es el tema de inversión, que va un poco en la línea de lo que decía el profesor Bermúdez, al final para la empresa requiere un esfuerzo, si quiere instalar simulación mediante paquetes, tiene que comprar el paquete, tiene que contratar a gente que aprenda a utilizar esos paquetes y que se mantenga ahí, y si además quiere también interlocución con Centros Tecnológicos, con Universidad, etc. pues, esa persona no puede estar cambiando continuamente. Hay poca cultura de inversión I+D en la medida en que progrese en esta línea es cuando las cosas serán más reales en investigación en España.

Arantza Urkaregi, Departamento Matemática Aplicada, Estadística e Inv. Op., Facultad de Ciencias, UPV/EHU y Miembro del Consejo Social

Estoy de acuerdo en la necesidad de adaptar la formación de los Matemáticos a la aplicación práctica, dado que todo el mundo no pueda saber de todo, pero ¿no crees que sería positivo impulsar equipos de investigación multidisciplinar en función del campo de trabajo?. Por ejemplo matemáticos y médicos o matemáticos, físicos e ingenieros, etc.

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de compostela, Facultad de Matemáticas

Indudablemente, y yo creo que la forma de hacer eso es partiendo de un proyecto, es decir, creo que esa colaboración y la creación de los equipos se puede hacer con relativa facilidad si hay un objetivo concreto desde el principio, si hay un proyecto. Se citaba la colaboración de matemáticos y médicos; es un campo clarísimo, todos los temas de tratamiento de imágenes, de medios de diagnóstico, de la

llamada ingeniería biomédica en general, requieren muchos algoritmos de modo que es un campo interdisciplinar para médicos, ingenieros, físicos, matemáticos,...

Arantza Urkaregi, Departamento Matemática Aplicada, Estadística e Inv. Op., Facultad de Ciencias, UPV/EHU y Miembro del Consejo Social

He realizado esta pregunta porque creo que se ha planteado antes la dificultad que hay de formar matemáticos desde el punto de vista práctico. Javier Duoandikoetxea también ha planteado las dificultades que hay incluso entre los propios alumnos que, igual no lo ven, pero es cierto lo que tú planteas. Esos equipos tienen que estar enfocados en un problema concreto. Yo lo digo por propia experiencia, nosotros tenemos un convenio firmado con OSAKIDETZA, para un tema concreto de aplicación de la estadística al campo médico. Entonces, tú misma te vas dando cuenta de las necesidades y de las deficiencias que tienes, pero es un estímulo tanto a nivel de investigación como a nivel de docencia y lo que está claro es que las personas matemáticas tenemos una formación, tú también lo has dicho en tu exposición, que nos permite adaptarnos a un montón de cuestiones. En ese sentido creo puede ir cambiando un poco la formación matemática. Podría ser a través de esos equipos de investigación multidisciplinar que podrían llevarnos a un cambio en nuestra propia docencia. El problema que se ha planteado respecto a la reforma de los planes de estudio es algo más a medio plazo y a veces cuenta con más dificultad.

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Matemáticas

Estoy completamente de acuerdo con lo que has dicho. Yo introduciría también un elemento nuevo, que conecta con un comentario anterior. La Universidad establece una serie de objetivos recogiendo las misiones que le encarga la sociedad, pero muchas veces no es coherente y me voy a referir a un tema concreto que me parece que está relacionado con lo que tú dices. Se trata del coste que supone para un matemático incorporarse a un equipo multidisciplinar. Un

matemático está trabajando en un campo de investigación, probablemente de carácter teórico; está consiguiendo una productividad que plasma en artículos, comunicaciones a congresos, etc. y que le van a permitir su promoción profesional: si se presenta a unas oposiciones de profesor, le van a pedir que tenga un curriculum investigador, que haya publicado en revistas, cuanto más prestigiosas mejor. Y de repente, un buen día se le plantea dar un giro de noventa grados y meterse en un equipo interdisciplinar, cuando eso le supone que va a estar unos años probablemente sin producir artículos. Estoy plenamente convencido que la universidad española tenía un déficit de investigación y por lo tanto ha sido muy importante que durante estos últimos años la investigación se haya primado especialmente. Pero todo es cuestión de equilibrio, de medida, de proporciones. Yo creo que la Universidad va a tener que valorar también estos otros costes que suponen las reconversiones, en este caso de los matemáticos, el que una persona esté durante unos años formándose en otro campo interdisciplinar donde probablemente va a ser muy útil, pero a corto plazo su actividad no se va a traducir en publicaciones que le vayan a permitir ganar unas oposiciones. Yo creo que la Institución, manteniendo con claridad que un profesor universitario debe hacer una investigación de calidad, debe también valorar este otro tipo de tareas. Esto creo que animaría a que, en este caso los matemáticos, se integrasen con más facilidad en otros equipos para los que van a ser muy valiosos.

Pedro Larrea, Presidente del Consejo Social

Nos estamos acercando ya al final, si hay alguna nueva pregunta

...

José Antonio Lozano, Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, Facultad de Informática, UPV/EHU

Yo, como vengo de la Facultad de Informática, y aquí se está hablando de matemáticos, de ingenieros, de físicos, tengo que decir que también me gustaría que se tuviese en cuenta a los ingenieros informáticos, que tienen una base matemática bastante importante y en este tipo de grupos interdisciplinares tendrían un papel que jugar, porque el desarrollo software se hace con este tipo de aplicaciones.

Son campos en los que ellos son expertos y la base matemática les confiere también un poder de interrelación con matemáticos, con ingenieros, con físicos o con otra gente con una formación matemática.

Manuel Tello, Decano de la Facultad de Ciencias y Miembro del Consejo Social

Quisiera plantearle al ponente una reflexión final. En la discusión se han puesto de manifiesto dos opciones: primera, trabajo usual con paquetes comerciales; segunda, aplicaciones más avanzadas de los paquetes comerciales. Para la primera parece que ha quedado claro que es suficiente con incorporar la formación adecuada en matemáticas a las titulaciones de ingeniero, físico, etc. Los matemáticos entrarían en la segunda. Sin embargo las ventajas competitivas vienen de opciones nuevas no contempladas en lo que se vende. En los ejemplos de la exposición creí ver algo en este sentido.

Primera pregunta: ¿Podría darnos, en base a su experiencia, su opinión sobre el futuro en esta dirección, así como una comparación con su experiencia internacional?.

Y la segunda es: ¿Puede extender sus comentarios a la posibilidad de desarrollar tecnología avanzada con bajo coste de creación gracias a la aportación de los matemáticos? Por ejemplo, tecnología basada en lo no lineal.

Alfredo Bermúdez de Castro, Director del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Matemáticas

Sobre la primera parte diría que los paquetes comerciales son productos dinámicos que experimentan continuas mejoras y desarrollos, no sólo para incluir cada vez más modelos sino también nuevos algoritmos: existe una investigación de carácter estrictamente matemático, para mejorar los métodos de cálculo y cualquier paquete que se precie va a seguir vivo y abierto para incorporar todas estas mejoras. Por lo tanto en el desarrollo de los grandes paquetes también hay una contribución de los matemáticos.

Sobre la segunda pregunta creo que algo ya he comentado también en mi charla. La simulación numérica permite desarrollar tecnología con mayor rapidez y menores costes. Por ejemplo una empresa que fabrica volantes recibe un encargo para un nuevo automóvil. La forma tradicional de proceder consiste en hacer un primer diseño que se somete en laboratorio a los ensayos del “cuaderno de cargas”. Si alguno no se satisface es necesario modificar este primer diseño y volver a empezar. Este proceso lleva tiempo y tiene unos costes importantes. Por el contrario, si uno dispone de un modelo del comportamiento mecánico de ese volante, puede someterlo a todos los test del cuaderno de cargas en el ordenador y, si fuese necesario, modificarlo con ayuda de un programa de “diseño asistido por ordenador” (CAD). Por supuesto el que pase los test en el ordenador es suficiente, pues las normas de homologación requieren los ensayos en laboratorio, pero la ventaja es que el número de prototipos se reduce considerablemente.

Pedro Larrea, Presidente del Consejo Social

Muchas gracias a todos. Damos por finalizado el debate. Ahora muy brevemente, Mikel Lezaun nos presentará los actos del Año Mundial de las Matemáticas.



Mikel Lezaun, Director del Departamento de Matemática Aplicada y Estadística e Investigación Operativa, Facultad de Ciencias, UPV/EHU y Coordinador del Comité en el País Vasco para la celebración del Año Mundial de las Matemáticas

Como casi todos ustedes ya saben, este año 2000 es el Año Mundial de las Matemáticas. El inicio de esta conmemoración se remonta a mayo del 92, fecha en la que la Unión Matemática Internacional, reunida en Río, declaró el año 2000 como el Año Mundial de las Matemáticas, con los objetivos de determinar los grandes desafíos matemáticos del siglo XXI, proclamar a las matemáticas como una de las claves fundamentales para el desarrollo e impulsar la presencia sistemática de las matemáticas en la sociedad de la información. A su vez la UNESCO, en su Conferencia General de noviembre de 1997, acordó su apoyo y patrocinio del año 2000 como el Año Mundial de las Matemáticas, señalando además el papel clave de las matemáticas en todos los niveles del sistema educativo.

A comienzos del año pasado, se reunieron en Madrid todas las sociedades matemáticas españolas y tomaron una actitud decidida a utilizar el Año Mundial de las Matemáticas, para dar a conocer las matemáticas a la sociedad. Una de las primeras propuestas fue la aprobación en febrero de un Proyecto no de Ley en el que el Congreso

de los Diputados resaltaba la importancia de las matemáticas y apoyaba todos los actos conmemorativos del año 2000. El 22 de enero de este año hubo una Jornada Matemática en el Congreso de los Diputados que fue presidida por D. Federico Trillo y en la que intervino el profesor francés Jacques Louis Lions, que en el año 92 era Presidente de la Unión Matemática Internacional. Por su parte el Senado ha montado una exposición que fue inaugurada por su Presidenta D^a Esperanza Aguirre, titulada “Las Medidas y las Matemáticas. La Introducción del Sistema Métrico Decimal en España” y ha editado en facsímil “El libro de los relojes solares”. Siguiendo con actividades institucionales, el Parlamento de Cataluña, el Parlamento de Galicia, el Parlamento de Valencia y el Parlamento de Andalucía han aprobado declaraciones referentes al Año Mundial de las Matemáticas 2000.

Desde aquí, desde el País Vasco, el año pasado nos reunimos profesores de diferentes departamentos que tienen relación con las matemáticas y convenimos en la necesidad de organizar distintos actos conmemorativos de este Año Mundial de las Matemáticas. Desde un principio pensamos que en los actos conmemorativos había que desarrollar tres aspectos: la presencia de las matemáticas en la sociedad y sus relaciones con otros sectores de la sociedad, la investigación matemática y por último la enseñanza de las matemáticas.

Dentro del primer apartado, el primer acto es éste que ha organizado el Consejo Social. Tengo que hacer notar que desde el momento en que vinimos a informar al Consejo Social de que éste es el Año Mundial de las Matemáticas, su interés ha sido constante y de ellos ha partido esta iniciativa. También en este apartado, hemos organizado un ciclo de conferencias de carácter divulgativo en la Biblioteca de Bidebarrieta titulado “La irrazonable eficacia de las Matemáticas”. Este ciclo va a empezar el martes y durará cinco martes consecutivos. Con respecto de este ciclo, pensamos que teníamos que ofrecer este marco a personas que hablaran de matemáticas pero que no fueran del mundo académico de las matemáticas. Así, empezaremos con una conferencia de “Matemáticas y Física”, tendremos otra que se titula “El Uso de las Matemáticas en los Mercados Financieros”, una tercera se titula “La Concepción Matemática en la Música del Siglo XX”, otra conferencia será “Algunas Aplicaciones de las Matemáticas a la Ingeniería” y la última se titula “La Eficacia de la Programación

Matemática en el Mundo Empresarial". Está claro que la primera estará dada por un físico, Enrique Alvarez, la segunda la impartirá el responsable de la Mesa de Nuevos Productos del BBVA, Eloy Fontecha, el tercer conferenciante es un compositor y musicógrafo, Carlos Villasol, el cuarto es Enrique Castillo Ron y el último el Director de Sistemas de Apoyo a la Decisión, Laureano Escudero. Tendremos pues cinco conferencias divulgativas con el enfoque que ya he comentado antes. También, dentro de este apartado, se han programado para finales de agosto dos cursos de verano en la Universidad de Verano de San Sebastián que se titulan "Matemáticas en el Mundo Real". Voy a leer varios títulos para que vean la orientación de estos cursos: "Sistemas de reacción-difusión, una clase de modelos matemáticos en biología", "Procesos Estocásticos, ¿realmente son útiles en finanzas?", "La Estadística, problemas y métodos", "Caos en el movimiento del Sistema Solar", "Análisis Numérico, aplicación a problemas reales", "Codificación de la Información".

En el apartado de las matemáticas desde las matemáticas, el acontecimiento más importante que va a haber este año se celebrará en Barcelona y es el tercer Congreso Europeo de Matemáticas, que tendrá lugar el mes de julio. Ya aquí, en Bilbao, va a haber un Congreso muy importante de Geometría Diferencial en memoria de Alfred Gray, que era un profesor de Maryland que estando de visita en la Universidad del País Vasco murió de un infarto. Su viuda quiso que el congreso homenaje se realizara en Bilbao y éste se va a celebrar en septiembre. Hay que resaltar que vienen dos "medallas Fields", que podríamos decir que es el máximo galardón que puede obtener un matemático.

Por último, en lo referente a las matemáticas y la educación, lo vamos a dejar para el comienzo del curso que viene. Dos o tres personas tenemos el compromiso de organizar una o dos jornadas-debate con profesores de enseñanzas medias y también alguna jornada universitaria en el ámbito, por lo menos, de la Facultad de Ciencias. Esta última jornada sería alrededor de San Alberto, que es nuestro patrón, ya que, debido a los exámenes, es más fácil hacerla a principio que al final de curso.

Estos serían, en resumen, los actos que tenemos previstos para conmemorar el Año Mundial de las Matemáticas 2000. Muchas Gracias.

Pedro Larrea, Presidente del Consejo Social

Muchas gracias Mikel. Nos gustaría terminar estos Encuentros con algún resultado tangible, que sea fruto del debate. Para ello, el Consejo Social va a trasladar al Parlamento Vasco la necesidad de que inste al Gobierno, en línea con otras iniciativas adoptadas por otros Parlamentos a los que acaba de hacer referencia Mikel Lezaun, para que favorezca programas de investigación en el ámbito de las matemáticas, sean didácticos o de aplicación científica e industrial, empresarial o tecnológica, y segundo, para que se divulguen las matemáticas en los medios de comunicación de titularidad pública. Por otra parte, a mí me gustaría hacer una reflexión final. Es muy fácil querer trasladar la responsabilidad a las instancias sociales diciendo: "Es que no nos piden, es que están muy distantes de nosotros. No somos todo lo útiles que podríamos ser porque desde el otro lado no hay ningún intento de acercamiento. De la misma manera, este mismo esquema puede operar, y a veces opera, desde las empresas o desde estamentos sociales: "Es que la Universidad no se acerca a nosotros. La Universidad no es consciente de los problemas reales que tiene la sociedad".

Bien, yo creo que una forma, si no la única por lo menos la más expeditiva para solucionar este distanciamiento entre unos y otros, es aproximar la oferta a la demanda. En este sentido, la idea de una Fundación, como la que el Consejo Social viene proponiendo con poco éxito, desde hace seis años, sigue siendo una idea válida.

Sé que en los equipos de las tres candidaturas que pasado mañana compiten por el rectorado, hay sensibilidades muy distintas a este respecto. Desde el Consejo tenemos que ser exquisitamente neutrales ante el proceso pero en cualquier caso, sí os diré que al nuevo equipo rectoral le vamos a plantear la fundación Universidad-Sociedad. Con esto pretendo haceros partícipes de nuestras intenciones. Me dirijo a todos los académicos, pero también a la representación empresarial, para que cuando nosotros tomemos la iniciativa nos apoyéis. Porque repito, creo que es una herramienta realmente útil como se ha demostrado en otras Universidades de Galicia, Madrid o Cataluña.

Para que esta aproximación sea más estrecha, y para que realmente la Universidad aporte más a la sociedad y al mismo tiempo resuelva el problema de financiación que tiene planteado, todas estas

iniciativas pueden ser realmente útiles.

Muchas gracias a todos por su participación y por sus aportaciones a este debate.



