

La enseñanza de la Estadística en las Escuelas Técnicas

por

DANIEL PEÑA
ETSI Industriales
U. P. Madrid

ALBERT PRAT
ETSI Indust. de Barcelona
U. P. Cataluña

RAFAEL ROMERO
ETSI Agrónomos
U. P. Valencia

RESUMEN

Este trabajo analiza la docencia de la Estadística para Científicos y Tecnólogos y la situación actual de su enseñanza en las Escuelas Técnicas en España. A continuación se exponen las experiencias concretas de tres Escuelas Superiores de Ingenieros que han modificado recientemente su curriculum docente. Se concluye recomendando una enseñanza más orientada hacia las aplicaciones.

1. INTRODUCCION

La enseñanza de la Estadística se encuentra en la actualidad sometida a un fuerte proceso de revisión tanto en Europa Occidental como en Estados Unidos y, recientemente, la ola de cambios parece también afectar a la Unión Soviética (véase Kotz y Smith, 1988 para un análisis de los comienzos de este debate). Esta polémica ha afectado de manera central a la enseñanza de la Estadística en las Escuelas Técnicas y en la sección siguiente describiremos brevemente algunas tendencias dominantes en este debate.

En el caso español, la enseñanza de la Estadística en las distintas Escuelas Técnicas y Superiores es muy diversa. En el pasado, aunque siempre

han existido diferencias en los programas explicados, el número teórico de horas de una disciplina era común para la misma titulación. Actualmente, sin embargo, la autonomía universitaria ha permitido modificar el currículum de enseñanzas, conduciendo a diferencias importantes para una misma titulación entre distintas Universidades.

Por citar únicamente un ejemplo, la duración de las Ingenierías superiores es de seis años en las Universidades Politécnicas de Madrid y Valencia y de cinco en Cataluña. Además, la Estadística sólo aparece explícitamente dentro del plan de estudios de algunas Escuelas técnicas, y en el resto se imparte o no en función del criterio del departamento de Matemáticas.

Con objeto de disponer de información fiable sobre la enseñanza actual de la Estadística, se ha realizado una encuesta en todos los centros técnicos de España para recabar información sobre el contenido explicado y el profesorado responsable de las enseñanzas. El cuestionario se envió a 114 Escuelas y 35 de ellas (31 %) respondieron, 18 Superiores y 17 Técnicas. El número de cuestionarios recibidos es algo mayor (40) ya que en algunas Escuelas contamos con la información de varios profesores. En esos casos se han promediado las respuestas para tener, en todo caso, opiniones globales de Centros.

En la sección tres de este trabajo se resumen los resultados de la encuesta: los contenidos, las características del profesorado y sus opiniones. Esta sección concluye con unos comentarios críticos sobre la situación actual.

A continuación, y en consonancia con el enfoque escogido, hemos considerado más interesante exponer experiencias prácticas que teorizar respecto a lo que debería enseñarse. En consecuencia, en las secciones 4, 5 y 6 se presentan tres experiencias concretas de modificación de un currículum de Estadística para Ingeniería en las Universidades Politécnicas de Cataluña, Madrid y Valencia.

Aunque el artículo se ha centrado en las Escuelas Técnicas, pensamos que las conclusiones y recomendaciones aquí incluidas son válidas en general para la enseñanza de licenciados, científicos o técnicos, para los que la Estadística sólo tiene interés como herramienta para su trabajo profesional.

2. ESTADÍSTICA Y ENSEÑANZA TECNICA EN EE.UU.

Hace unos diez años comenzó en algunas universidades de EE.UU. y Canadá un proceso de cambio en la enseñanza de la Estadística que partía de una profunda insatisfacción respecto al funcionamiento de la docencia universitaria para enseñar estadística a no especialistas.

A continuación presentamos algunas opiniones calificadas en esta dirección.

"Las universidades han hecho una buena labor en preparar estadísticos para carreras académicas o para la investigación. No lo han hecho tan bien preparándolos para trabajar en la industria o en las empresas, donde sería deseable un mayor énfasis en la práctica de la Estadística y en el desarrollo de las habilidades precisas al respecto" (Pfeifer et al. 1986).

"Aunque los departamentos de estadística son ahora comunes en las universidades, continúa existiendo una grave carencia de estadísticos *competentes para trabajar sobre problemas reales*". (Box. 1976).

"Hemos realizado históricamente un trabajo muy pobre en la docencia de la Estadística... Hemos fallado continuando año tras año en enseñarla más o menos de idéntica forma a como se hacía hace 40 años... Lo que enseñamos en los cursos no es útil ni tiene que ver con los problemas del mundo real... El problema es complicado, porque la mayor parte de los profesores que enseñan Estadística no la han utilizado nunca para resolver problemas en la realidad". (Joiner 1986).

"Durante demasiado tiempo hemos tolerado en la profesión estadística una pobre enseñanza de nuestra ciencia, que se traduce en cursos que son frecuentemente calificados por nuestros alumnos como los más inútiles que nunca han recibido. Demasiado a menudo, lo que les enseñamos aparece como una colección de métodos inconexos, ilustrados con ejemplos relativos a lanzamientos de monedas o dados. Y a continuación esperamos que nuestros alumnos sean capaces de trasladar esta amalgama de métodos ejemplificados con juegos de azar al análisis de los complejos problemas reales de la industria". (Godfrey, 1986).

Como puede comprobarse, el denominador común en las críticas que se dirigen a la enseñanza actual de la Estadística en Estados Unidos, es su carácter academicista, excesivamente teórico y lejano de la problemática real que tiene que afrontar el estadístico en su posterior actividad profesional. En este sentido las recomendaciones de los expertos se pronuncian por reforzar, dentro de la docencia, el papel desempeñado por el estudio de problemas reales, o, al menos, realistas.

"La Estadística se define como *La ciencia y el arte de obtener y analizar datos*. La palabra clave es *datos*. El objeto esencial de nuestra ciencia son los datos, no la variabilidad aleatoria ni la probabilidad". (Joiner, 1986).

"Muchos líderes estadísticos han opinado claramente que debe darse un énfasis cada vez más fuerte al estudio de casos y problemas reales... Es muy importante reforzar esta filosofía en todo curso impartido a usuarios

de la Estadística. Necesitamos enseñar a la gente de los más diversos campos cómo la Estadística puede ayudarles a hacer mejor su trabajo... Podemos conseguir progresos notables si combinamos esta nueva dedicación a la excelencia en la docencia usando casos reales con la utilización del software estadístico disponible que transforma muchos sofisticados y complejos métodos en comprensibles y fáciles de utilizar". (Godfrey, 1986).

En sintonía con estas preocupaciones, la Asociación Norteamericana de Estadísticos (American Statistical Association) organizó en 1984 una conferencia sobre la enseñanza de la Estadística en Ingeniería. El resultado de esta conferencia fue diseñar un currículum básico para los cursos de Estadística para Ingenieros que se imparten en EE.UU. Este programa, que se expone en la tabla 4 y ha sido publicado en Hogg et al (1985), sintetiza los impartidos por los centros más prestigiosos en EE.UU. y se ha tomado como referencia en muchas universidades, tanto en EE.UU. como en Europa, a la hora de diseñar sus cursos.

TEMA	Proporción del Programa	
Estadística Descriptiva y Control de Calidad	20	55 %
Probabilidad	17,5	
Inferencia Básica	17,5	
Regresión	10	45 %
Diseño Experimental	25	
Fiabilidad	10	

Tabla 4

Programa recomendado en Hogg et al (1985) para un curso de Estadística para Ingenieros

La mencionada conferencia ha tenido continuidad a la vez que ha ampliado el ámbito de discusión hacia las organizaciones americanas de Ingeniería y al ABET (Accreditate in Board for Engineering and Technology), organismo encargado en los EE.UU. de fijar directrices y homologar planes de

estudio de ingeniería. Bajo el patrocinio de ABET se celebró en Leesburg, (V.A.) en Junio de 1989 una conferencia con el título: "Statistics and Probability in Engineering Education", con asistencia de más de un centenar de ingenieros y estadísticos. Dos de los autores del presente trabajo fueron invitados a presentar un trabajo sobre la situación en España, de las enseñanzas de la Estadística en la ingeniería (Prat y Peña 1989).

En esta conferencia se reafirmó la filosofía básica de Hogg et al (1985) con mayor énfasis en los temas de métodos estadísticos para la calidad, en radical oposición a la filosofía clásica, donde el único curso de Estadística ofrecido a los Ingenieros era una introducción a la Estadística Matemática. Una recomendación importante de la conferencia es utilizar la Estadística en los laboratorios de los restantes Departamentos de Ingeniería.

3. SITUACION ACTUAL

3.1 Los Centros

Las Escuelas Técnicas en España son de dos tipos: Escuelas Técnicas Superiores, donde después de 5 ó 6 años de estudios se obtiene el título de Ingeniero Superior o Arquitecto, y Escuelas Universitarias, donde tras un curriculum de tres años se obtiene el título de Ingeniero Técnico (antiguos Peritos) o Arquitecto Técnico (antiguamente Aparejador).

La Estadística aparece explícitamente en el plan de estudios de cuatro Ingenierías Superiores (Agrónomos, Minas, Montes e Industriales), donde ha existido tradicionalmente una cátedra específica de Estadística. La duración de las enseñanzas es anual, con 4 ó 5 horas a la semana en Minas, Montes e Industriales, y cuatrimestral en Agrónomos donde, sin embargo, existe además un cuatrimestre de Econometría para los alumnos de una de las 5 especialidades de la carrera.

En las restantes Escuelas Superiores (Aeronáuticos, Arquitectura, Caminos, Navales y Telecomunicación) la situación varía mucho de unos centros a otros en función de los intereses específicos de los Catedráticos de Matemáticas, que son los responsables de la enseñanza de la Estadística.

En líneas generales la Estadística es en la práctica una asignatura anual en Caminos, cuatrimestral en Telecomunicación y Aeronáuticos, y se enseña menos de un cuatrimestre, o nada en absoluto, en Navales y Arquitectura.

En las Escuelas de Ingeniería Técnica la Estadística no aparece en general explícitamente, pero se enseña durante un cuatrimestre en la mayoría de las Escuelas de Agrónomos e Industriales, e igual o menos en el resto.

3.2 Contenidos

La Tabla 1 presenta el número de horas *obligatorias* de Estadística y su distribución porcentual en los centros que han contestado a nuestra encuesta.

Para facilitar la comparación y el análisis se han hecho dos bloques de contenidos: una parte básica que aparece en todos los programas (con la excepción de Telecomunicaciones de Santiago) y una parte aplicada que es variable de unos a otros. La parte básica incluye Descriptiva, Probabilidad e Inferencia, y constituye el contenido habitual de cualquier curso de Estadística. La parte aplicada incluye Control de Calidad, Diseño de Experimentos, Regresión y el Capítulo "Otros". Esta clasificación es sólo aproximada, ya que el contenido de la columna "Otros" es muy heterogéneo: en algunos centros está conectado a aplicaciones (fiabilidad y series temporales especialmente), mientras que en otros podría incluirse como materias básicas (procesos, teoría de la decisión).

La Tabla muestra que de forma simplista podemos clasificar a los Centros en dos grupos:

a) *Clásicos*, entendiéndolo por ello que más de dos tercios del programa se dedican a la parte básica (columna 4, suma de Descriptiva, Probabilidad e Inferencia). 12 de los 18 centros superiores (71 %) pertenecerían a esta clase.

b) *Aplicados*. Dedican a C. Calidad, Diseño de Experimentos, Regresión y otros al menos el 33 % del programa. Sólo 6 de los 18 centros superiores se encuentran en este grupo.

Es indudable que el enfoque de, por ejemplo, el cálculo de probabilidades puede diferir mucho de un centro a otro y el análisis detallado de los programas podría conducir a una clasificación más fina. No obstante, y dada la limitada información de que disponemos, los datos de la tabla 1 sirven para describir de forma aproximada la situación actual.

La Tabla 2 presenta el mismo análisis para las Escuelas Universitarias de Ingeniería Técnica. De nuevo solamente un tercio de ellas se caracteriza por un enfoque aplicado, entendiéndolo por ello dedicar al menos el 33 % del tiempo a temas de aplicación directa.

Sorprende que ninguna de las escuelas de Ingenieros Técnicos Agrícolas dedique tiempo alguno a enseñar Control de Calidad, que parece estar también mayoritariamente ausente de las Ingenierías Técnicas Industriales. En estas, además, el diseño de experimentos brilla por su ausencia.

En resumen, los cursos de Estadística de las Escuelas de Ingeniería tanto superiores como técnicas están más encaminadas a proporcionar una base

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
DESCRIP- TIVA	PROBABI- LIDAD	INFEREN- CIA	TOTAL BASICO %	CONTROL CALIDAD	DISEÑO EXPER.	REGRE- SION	OTROS	TOTAL APLICADO %	HORAS TOTALES
AERONAUTICOS Madrid	56	8	70	10	5	5	10	30	63
AGRONOMOS Valencia	27	20	60	--	27	13	--	40	75
Santiago	40	30	80	--	10	10	--	20	100
ARQUITECTURA Valencia	40	20	73	7	--	13	7	27	30
CAMINOS Barcelona	37	28	69	--	5	9	17	31	104
Madrid	33	34	78	--	--	22	--	22	90
Cantabria	38	20	66	2	16	16	--	34	126
INDUSTRIALES Sevilla	18	28	53	11	9	9	18	47	112
Cantabria	38	32	85	--	--	15	--	15	65
Zaragoza	29	33	70	8	8	10	4	30	120
Madrid	15	23	46	8	23	23	--	54	130
Barcelona	10	10	34	12	30	20	4	66	130
MINAS Madrid	29	29	64	6	6	24	--	36	85
Oviedo	30	38	95	--	--	--	5	5	52
MONTES Madrid	33	49	84	--	5	6	5	16	109
NAVALES Madrid	19	31	54	--	--	31	15	46	26
TELECOMUNICACIONES Cantabria	33	23	88	--	--	22	--	22	45
Santiago	69	--	69	--	--	6	25	31	64

Tabla 1

Porcentaje de horas totales (Columna 10) dedicado a las distintas partes en Escuelas Superiores.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
DESCRIP- TIVA	PROBABI- LIDAD	INFEREN- CIA	TOTAL BASICO %	CONTROL CALIDAD	DISEÑO EXPER.	REGRE- SION	OTROS	TOTAL APLICADO %	HORAS TOTALES
AGRONOMOS									
Sevilla	30	20	70	--	18	12	--	30	50
Santiago	39	22	83	--	--	17	--	17	36
Palencia	37	37	86	--	--	--	14	14	40
Valladolid	10	20	40	--	20	40	--	60	50
León	50	--	100	--	--	--	--	--	60
INDUSTRIALES									
Badajoz	25	15	70	--	--	30	--	30	33
Tarrasa	30	20	80	--	--	20	--	20	50
Alcoy	15	10	40	50	--	10	--	60	20
Almería	18	23	68	--	--	18	14	32	22
Barcelona	23	30	53	20	--	17	--	37	30
Mataró	3	17	45	17	--	17	21	55	60

Tabla 2

Porcentaje de horas totales (Columna 10) dedicado a las distintas partes de la Estadística en Escuelas Técnicas de Grado Medio.

general que herramientas útiles para el análisis de datos y la investigación empírica. Hay que resaltar que al ser, en general, el programa analizado el único contacto del futuro Ingeniero con la Estadística, una proporción apreciable de nuestros graduados salen de las Escuelas sin conocer la existencia de las técnicas del Control estadístico de Calidad, Fiabilidad y Diseño de experimentos.

3.3 Profesorado

Los profesores que imparten las enseñanzas de Estadística en las Escuelas Superiores de Agrónomos, Industriales, Minas y Montes pertenecen mayoritariamente al área docente de Estadística e Investigación Operativa, mientras que en el resto de las Escuelas Superiores, y en prácticamente todas las Técnicas, pertenecen al área de Matemática Aplicada. El área de Estadística es dominante en centros donde existían plazas de Estadística como tales y donde esta asignatura tiene cierto peso específico en el plan de estudios, mientras que el área de Matemática Aplicada corresponde a centros donde la estadística se ha explicado dentro de asignaturas de matemáticas.

El tamaño de los grupos docentes es muy reducido: de los Centros de los que disponemos de datos, los grupos más numerosos se encuentra en Industriales de Madrid y Barcelona (con 7 y 6 profesores respectivamente), siendo los grupos generalmente no mayores de tres profesores, y frecuentes los casos de una o dos personas, cuando la Estadística es cuatrimestral (lo que incluye todas las Escuelas de grado medio). En las Universidades Politécnicas de Cataluña y de Valencia todo el profesorado de Estadística se incluye en un Departamento común, lo que hace que el tamaño real de los grupos sea mayor que el de las unidades docentes aisladas.

La opinión del profesorado respecto a la enseñanza de la Estadística obtenida por la encuesta anterior se encuentra en la tabla 3, que recoge opiniones de 40 profesores de 35 centros. Cada profesor expresaba su opinión respecto a las afirmaciones indicadas en una escala de 0 a 10, donde 10 indica acuerdo completo con la afirmación, y 0 desacuerdo total. En los centros donde más de un profesor rellenó el cuestionario se hizo la media de las respuestas. La tabla 3 contiene el resumen de las siete afirmaciones incluidas en la encuesta.

Las conclusiones principales obtenidas pueden resumirse en:

a) el grado de satisfacción en el enfoque de la enseñanza es sólo moderado, aunque mayor en las Escuelas Superiores que en las Universitarias.

b) desde el punto de vista del profesorado de estadística, el reconocimiento del valor de la estadística en Ingeniería por los otros profesores es

también moderado, aunque en las Escuelas Superiores es mucho más frecuente que profesores de otros departamentos acudan a consultar con el grupo de estadística.

	E. SUPERIORES					E. UNIVERSITARIAS				
	Min	Q ₁	Med	Q ₃	Max	Min	Q ₁	Med	Q ₃	Max
1. La Estadística está bien orientada en mi Centro.	2	5	6	7	10	--	3	5	6	8
2. Los otros profesores valoran la Estadística.	--	3	6	8	10	--	3	6	7	10
3. Los alumnos utilizan el ordenador.	--	2	6	6	9	--	--	1	6	10
4. Los alumnos trabajan con datos reales.	--	2	5	9	10	--	1	4	5	10
5. Acuden profesores a consultar.	--	3	7	8	10	--	--	2	4	10
6. Importancia base matemática.	--	1	4	5	7	--	2	5	5	7
7. Importancia problemas prácticos.	5	6	7	10	10	4	7	8	10	10

Tabla 3
Distribución de opiniones en una encuesta de 35 Centros
(18 superiores, 17 técnicos)
(Q₁ primer cuartil, Q₃ tercer cuartil)

c) los profesores consideran más importante centrarse en problemas prácticos que en las bases matemáticas (preguntas 6 y 7).

d) existe correlación entre el enfoque y el grado de satisfacción, siendo ésta mayor en las Escuelas con enfoque aplicado.

e) los estudiantes de las Escuelas Superiores analizan en cierta medida datos reales mediante el ordenador, lo que no ocurre en las Escuelas Universitarias.

Estos resultados son consistentes con los contenidos anteriores, aunque se observa una cierta contradicción entre el carácter teórico de los programas y las opiniones mayoritarias de los profesores a favor de la enseñanza práctica.

Respecto al profesorado, el pequeño tamaño relativo de los grupos y su escaso contacto mutuo dificulta la aparición de planteamientos críticos y renovadores. Un dato significativo es su dispersión por varias áreas de conocimiento, su escasa afiliación a asociaciones científicas estadísticas nacionales o internacionales, y su infrecuente participación en reuniones, congresos o seminarios profesionales donde se presentan, discuten y analizan críticamente las nuevas tendencias docentes e investigadoras.

4. LA EXPERIENCIA DE LA E.T.S.I.I. de Barcelona, U.P.C.

4.1 Antecedentes

La Estadística en la E.T.S.I.I.B. de la Universidad Politécnica de Cataluña ha sido siempre una asignatura anual con una carga docente de 5 horas a la semana impartida a todos los alumnos de tercer curso. Introducida en la Escuela en los años 50 por el profesor Enrique Freixa, el primer Catedrático de la asignatura fue el Dr. Joaquín Torrens-Ibern quien inmediatamente le dió un contenido práctico, orientado hacia lo que en aquel momento histórico era importante en la industria: Control Estadístico del Proceso. El texto básico era el Mothes-Torrens-Ibern (1960).

Fallecido el Dr. Torrens-Ibern en 1975, hubo un período de cinco años en que a la asignatura se le dió un fuerte contenido teórico de Estadística Matemática, en detrimento de las principales aplicaciones (Análisis de la Varianza, Regresión y otras).

En 1980, Albert Prat visita durante un período de cinco meses el Departamento de Estadística de la Universidad de Wisconsin-Madison (EE.UU.). Allí puede constatar:

a) Que la asignatura que se estaba explicando a los alumnos de Ingeniería de Barcelona coincidía, en gran parte, con lo impartido en los cursos 709 y 710 de dicho Departamento de Madison, que son los cursos obligatorios más difíciles para los estudiantes de Doctorado en Estadística.

b) Que la Estadística impartida a los ingenieros en dicha Universidad, tenía un enfoque mucho más aplicado, siendo el libro de Box, Hunter y Hunter (1988) un fiel reflejo del contenido de dicha enseñanza.

Esta evidencia, junto con las discusiones habidas en un seminario organizado por George E.P. Box, en el que participaron Bill Hunter, Brian Joiner y Albert Prat está en la base de la nueva orientación que se da a la Estadística en la E.T.S.I.I.B. a partir del curso 1980-81 y que con pequeñas modificaciones se mantuvo hasta 1985.

En este momento, se produce una nueva modificación en el contenido de la asignatura. A través de un famoso documento emitido en 1983, por la cadena de T.V. norteamericana NBC bajo el título: *If Japan can, why can't we?*, empiezan a difundirse en Occidente las ideas de Calidad Total que con tanto éxito se habían aplicado en Japón.

El convencimiento de que los ingenieros españoles no podían permanecer al margen de conceptos tan importantes como el diseño robusto de productos y procesos, los conceptos de calidad de Deming, Juran, Ishikawa y otros, o de la gran cantidad de problemas que se pueden resolver en la industria con las siete herramientas básicas de Ishikawa (1976), han con-

ducido a la incorporación de estas materias en nuestra asignatura. Esta incorporación está en proceso de consolidación y completa el programa actual de la Estadística en la E.T.S.I.I.B. que comentaremos más adelante.

4.2 Filosofía subyacente al programa de Estadística en la E.T.S.I.I.B.

Aunque puede parecer obvio, creemos importante resaltar el carácter instrumental que la Estadística tiene para los ingenieros. No se puede caer en el error de intentar convertir en estadísticos a los estudiantes de ingeniería.

Ello hace que nosotros concibamos la Estadística como un conjunto de conceptos, métodos y herramientas que deben permitir al ingeniero contrastar sus teorías, modelos o intuiciones con datos.

Creemos que esta concepción está de acuerdo con el modelo de aprendizaje iterativo (ver Box, Hunter y Hunter, 1988) que es la base del método científico y que esquematizamos en la Fig. 1.

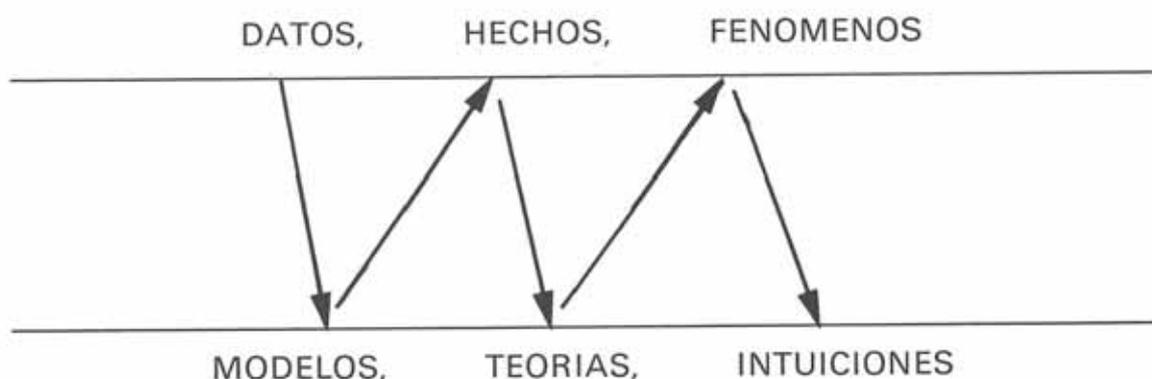


FIG. 1. Aprendizaje Iterativo

Es importante que los estudiantes de ingeniería se aproximen a cualquier método estadístico con el siguiente enfoque:

- a) Conocer con detalle las hipótesis de tipo teórico en las que se fundamenta (Ej.: homocedasticidad en el análisis de la varianza).
- b) Verificar si la aplicación del método es adecuada a sus datos.
- c) Disponer de recursos para saber qué hacer cuando alguna hipótesis del modelo no es admisible (Ej.: Transformar los datos, bloquear un diseño, etc.).
- d) Ser capaces de presentar en lenguaje no estadístico y de forma clara y concisa los antecedentes del estudio, el trabajo desarrollo y las principales conclusiones.

Mantener el aparato matemático al mínimo necesario es otra caracterís-

tica de nuestro enfoque. Nuestra experiencia en múltiples cursos impartidos a ingenieros en sus propias empresas nos ha convencido de que es posible transmitir los conceptos básicos con un lenguaje matemático relativamente simple. Como dice Box: Lo oscuro no siempre es sinónimo de lo esencial.

Finalmente, en el breve espacio de que necesariamente se dispone en el presente trabajo, queremos resaltar la importancia que damos al hecho de que el alumno maneje datos reales y diseñe experimentos personalmente. Nuestra experiencia nos demuestra que este enfoque es mucho más motivante que el trabajar con datos "de libro", e introduce al alumno a la problemática asociada a la recogida y análisis de datos reales: anomalías, datos inexistentes, información insuficiente para estratificar el problema, etc.

4.3 Implantación

La primera etapa de implantación del nuevo enfoque en la asignatura impartida en el E.T.S.I.I.B. se realizó durante el período 1980-85.

Se suprimió la diferencia entre clases de teoría y clases de problemas que pasaron a ser clases teóricas en la que todos los conceptos se introducían con ejemplos concretos. De las 5 horas semanales, 4 se dedicaron a dichas clases y una a prácticas con ordenador.

La asignatura se dividió en dos líneas que se explicaban en paralelo, cada una durante 2 horas a la semana, coordinándose ambas mediante reuniones quincenales de todos los profesores implicados.

En una de las líneas el énfasis estaba en el análisis exploratorio de datos y los modelos lineales, mientras que en la otra estaba en la comparación de dos poblaciones, el análisis de la varianza, el diseño de experimentos y el control de calidad.

Entre las dos líneas se aseguraba la enseñanza de los conceptos básicos de la Estadística Matemática. Los porcentajes del tiempo total dedicados a cada parte de la asignatura son los que figuran en la Tabla 1 (Industriales de Barcelona) con ligeras variaciones que explicaremos posteriormente.

Las clases prácticas fueron enormemente complicadas al principio. En efecto, el paquete estadístico BMDP utilizado para las mismas residía en el ordenador del Centro de Cálculo del MEC que, en aquella época requería las entradas en forma de tarjetas perforadas. A los alumnos se les explicaba el lenguaje BMDP y el problema a resolver a lo largo del curso: Obtener un modelo de regresión múltiple entre el rendimiento de una central térmica y un conjunto de variables explicativas. La base de datos consistía en datos reales de 1.000 días de funcionamiento de la central y eran utiliza-

dos con permiso de la empresa propietaria de los mismos, a la que nosotros habíamos asesorado. La práctica era voluntaria, (como consecuencia de la deficiente infraestructura informática) y los alumnos la iban realizando a medida que estudiaban la correspondiente teoría. Al final debían presentar un informe escrito en las líneas apuntadas en 4.2.

Posteriormente la práctica pudo ser realizada en los ordenadores del Centro de Cálculo de nuestra Escuela en forma más fluida, al poder acceder los alumnos directamente a alguno de los pocos terminales existentes. Hace tres años, la E.T.S.I.I.B. equipó un aula informática con 40 ordenadores personales. Este hecho hizo posible sustituir el BMDP por el MINITAB, simplificar el trabajo a los alumnos y modificar sensiblemente las prácticas en la forma que explicaremos en el siguiente apartado.

4.4 Primera Revisión

Antes de iniciar el curso 85-86 se produjo una primera revisión del contenido del programa con el fin de intentar mejorarlo.

Los elementos de partida en los que se basó dicha revisión fueron:

a) La retroalimentación obtenida de las encuestas anuales efectuadas a los alumnos de la asignatura.

b) La incorporación a nuestro Departamento de profesores titulares con ideas valiosas.

c) La importancia ya totalmente reconocida en Occidente de los nuevos métodos y filosofía de la calidad total.

d) La mejora de la infraestructura informática de nuestra Escuela.

Se introdujeron en el programa:

a) Las siete herramientas básicas del Ishikawa (diagramas de Pareto, de causa-efecto, etc.).

b) Los conceptos de Deming, Juran y otros, con énfasis en las aplicaciones estadísticas para la mejora constante de la calidad.

c) El diseño de experimentos (factoriales y fraccionales) para el análisis de los efectos sobre la dispersión.

La introducción de estos temas se consiguió a base de reducir el tiempo dedicado a algunos temas de regresión múltiple y a los dedicados a teoría de la probabilidad y estadística matemática.

De hecho los porcentajes que figuran en la Tabla 1, recogen ya estas incorporaciones y se han mantenido hasta el presente curso, en el que, de nuevo, hemos introducido algunas mejoras.

4.5 Situación actual

En el presente curso 1989/90, y dentro del proceso de mejora constante en el que estamos empeñados, se han introducido las siguientes modificaciones:

a) El análisis de la varianza completo se ha trasladado a la línea de modelos lineales. En la otra línea, el ANOVA se estudia únicamente como comparación de varias poblaciones y con un enfoque gráfico sencillo: la distribución de referencia para comparaciones múltiples.

b) En su lugar, se dedican 6 horas a introducir los conceptos de diseño robusto de productos y procesos, los llamamos "Métodos de Taguchi" y alternativas a los mismos.

c) Se ofrece al alumno la posibilidad de realizar tres prácticas voluntarias. La primera consiste en cinco sesiones, con profesor y en el aula informática de la E.T.S.I.I.B. en la que se les introduce el MINITAB y se utiliza dicho programa para verificar empíricamente, mediante simulación, los resultados más interesantes de la estadística matemática.

La segunda, la pueden realizar los alumnos en horario libre, con el MINITAB y consiste en hallar un modelo de regresión múltiple con la información contenida en una base de datos real, y la tercera consiste en la realización por parte de los estudiantes de un experimento de su elección.

En las dos últimas se exige un informe escrito completo y una exposición oral de 20 minutos en total.

Las instrucciones concretas para la realización de estas prácticas y la forma de evaluarlas están a disposición del lector interesado que las solicite, y se proporcionan a los alumnos el primer día de clase.

d) Finalmente, en el presente curso, los temas de comparación de dos o más medidas en diseños con o sin bloques, los diseños factoriales, y los factoriales fraccionales se introducen en la clase utilizando un helicóptero de papel que se puede construir con medio folio, con suficientes variables de diseño como para permitir diseños del tipo 2^{7-3} . La idea de utilizar este helicóptero en lugar de "productos" abstractos es debida al curso que profesores del Center for Quality and Productivity Improvement de la Universidad de Wisconsin, imparten a los ingenieros industriales de dicha universidad y ha resultado ser, hasta el momento, muy motivante para los alumnos.

Finalmente durante este curso se ha iniciado la utilización de transparencias hechas con edición profesional (Ventura), que sustituyen a las antiguas confeccionadas manualmente. Creemos que ello facilita al alumno (al que se le proporcionan fotocopias de las transparencias) un mejor seguimiento de la asignatura. En cada tema, junto con las fotocopias se le proporciona información específica sobre la bibliografía complementaria (Peña, 1987,

4.5 Situación actual

En el presente curso 1989/90, y dentro del proceso de mejora constante en el que estamos empeñados, se han introducido las siguientes modificaciones:

a) El análisis de la varianza completo se ha trasladado a la línea de modelos lineales. En la otra línea, el ANOVA se estudia únicamente como comparación de varias poblaciones y con un enfoque gráfico sencillo: la distribución de referencia para comparaciones múltiples.

b) En su lugar, se dedican 6 horas a introducir los conceptos de diseño robusto de productos y procesos, los llamamos "Métodos de Taguchi" y alternativas a los mismos.

c) Se ofrece al alumno la posibilidad de realizar tres prácticas voluntarias. La primera consiste en cinco sesiones, con profesor y en el aula informática de la E.T.S.I.I.B. en la que se les introduce el MINITAB y se utiliza dicho programa para verificar empíricamente, mediante simulación, los resultados más interesantes de la estadística matemática.

La segunda, la pueden realizar los alumnos en horario libre, con el MINITAB y consiste en hallar un modelo de regresión múltiple con la información contenida en una base de datos real, y la tercera consiste en la realización por parte de los estudiantes de un experimento de su elección.

En las dos últimas se exige un informe escrito completo y una exposición oral de 20 minutos en total.

Las instrucciones concretas para la realización de estas prácticas y la forma de evaluarlas están a disposición del lector interesado que las solicite, y se proporcionan a los alumnos el primer día de clase.

d) Finalmente, en el presente curso, los temas de comparación de dos o más medidas en diseños con o sin bloques, los diseños factoriales, y los factoriales fraccionales se introducen en la clase utilizando un helicóptero de papel que se puede construir con medio folio, con suficientes variables de diseño como para permitir diseños del tipo 2^{7-3} . La idea de utilizar este helicóptero en lugar de "productos" abstractos es debida al curso que profesores del Center for Quality and Productivity Improvement de la Universidad de Wisconsin, imparten a los ingenieros industriales de dicha universidad y ha resultado ser, hasta el momento, muy motivante para los alumnos.

Finalmente durante este curso se ha iniciado la utilización de transparencias hechas con edición profesional (Ventura), que sustituyen a las antiguas confeccionadas manualmente. Creemos que ello facilita al alumno (al que se le proporcionan fotocopias de las transparencias) un mejor seguimiento de la asignatura. En cada tema, junto con las fotocopias se le proporciona información específica sobre la bibliografía complementaria (Peña, 1987,

Box-Hunter-Hunter 1988, Peña y Prat, 1986 e Ishikawa, 1976) y enunciados de problemas a resolver por el alumno.

En principio creemos que el programa, en su versión actual, se mantendrá con modificaciones menores durante un período de cuatro años o hasta que se produzcan cambios en los planes de estudio. Al finaliza este período procederemos a otra actualización.

4.5 Evaluación

Somos conscientes de que los datos objetivos de que disponemos para evaluar la eficacia de las sucesivas modificaciones introducidas en el programa de la asignatura son escasos, pero ésto no significa que no sean válidos en cierta medida.

En primer lugar, el grado de satisfacción de los alumnos ante el contenido y la forma de explicar la asignatura, obtenido a través de las encuestas anuales efectuadas por la jefatura de Estudios de la E.T.S.I.I.B. es de los más elevados de la carrera.

En segundo lugar, y a pesar de que los exámenes son únicamente de problemas y el alumno puede utilizar todo tipo de libros, apuntes, etc., la asistencia a las clases (teóricas) se mantiene sin variaciones durante todo el curso. Este hecho contrasta con la situación anterior a 1980 en el que a las clases de problemas (entonces existían) la asistencia era masiva mientras que sólo un 10 % de los alumnos asistía a las de teoría. Somos conscientes de que ambas situaciones no son directamente comparables, pero el que la asistencia a las clases de teoría actual sea masiva y constante creemos es un índice de grado de interés.

En tercer lugar, y desde hace varios años los mejores estudiantes de su promoción, una vez aprobada la asignatura, manifiestan interés en incorporarse como becarios a nuestro Departamento y/o realizar el proyecto fin de carrera con nosotros.

Finalmente, cuando impartimos cursos de estadística industrial a ingenieros en sus propias empresas, sistemáticamente consideran que el contenido de estos cursos (que es siempre una parte de los que explicamos en tercer curso de la E.T.S.I.I.B.), es muy adecuado a las necesidades de los ingenieros en el ejercicio de su profesión, y se lamentan de que la Estadística que se explicaba en las E.T. superiores cuando ellos eran estudiantes fuese el típico curso de Estadística Matemática.

En conjunto creemos que estamos en el buen camino aunque somos también conscientes de que todo es mejorable.

5. LA EXPERIENCIA DE LA E.T.S.I.I., U.P.M.

5.1 Antecedentes

La Estadística en la ETSII de la Universidad Politécnica de Madrid es una asignatura anual con 5 horas de clase a la semana que se imparte en tercer curso. El programa en vigor hasta 1981 comenzaba con teoría de la medida e integración (3 ó 4 semanas) y continuaba con Probabilidad y Estadística Matemática. El libro de texto para la teoría de la medida era Jerez (1972) y el texto básico del curso Ríos (1967), del que se cubrían los capítulos 1 a 22 y 25. El examen consistía en preguntas del libro de texto (50 %) y problemas (50 %).

5.2 Definición del Programa

Para juzgar la importancia de las diferentes partes de la Estadística para el Ingeniero Industrial se utilizó el informe de la American Statistical Association (ASA, 1980) sobre este tema, que concordaba, a grandes rasgos, con nuestra experiencia personal en España. Este informe divide las aplicaciones industriales de las técnicas estadísticas en tres grandes grupos.

a) Usadas rutinariamente en la mayoría de las empresas

Análisis de Regresión, Métodos Estadísticos Básicos, Análisis de Varianza, Métodos Gráficos y Diseño de Experimentos.

b) Su uso depende del área de aplicación

Estimación de Componentes de la Varianza, Bioestadística, Análisis de Datos Cualitativos, Control de Calidad, Estimación no Lineal, Métodos no Paramétricos, Análisis de Datos por Rangos y Análisis Multivariante.

c) Uso menos frecuente

Modelos Probabilísticos, Simulación, Fiabilidad, Análisis Numérico, Análisis de Series Temporales y Técnicas de Muestreo.

El análisis de esta lista muestra que existe una relación clara entre la antigüedad de la técnica y su grado de implantación: las técnicas del grupo (a) llevan aplicándose en la industria al menos unos 40 años; las del grupo (b) tienen una edad media apreciablemente menor, y finalmente, el grupo (c) incluye técnicas de desarrollo reciente.

En consecuencia se decidió modificar el programa para introducir de forma destacada Control de Calidad, Diseño de Experimentos y Regresión. Estas áreas constituyen el núcleo de las aplicaciones y son de importancia creciente para los Ingenieros Industriales.

5.3 Objetivos

Los objetivos globales de la asignatura Estadística se establecieron finalmente en términos de comportamiento observable y evaluable como sigue:

- (1) El alumno debe ser capaz de definir poblaciones que puedan ser investigadas estadísticamente. Realizar hipótesis acerca de su estructura. Razonar un procedimiento de muestreo adecuado. Describir estadísticamente los datos muestrales. Comprobar su ajuste a un modelo de probabilidad mediante un test de Hipótesis acerca de sus valores. Interpretar críticamente los resultados obtenidos y señalar las consecuencias del análisis.
- (2) El alumno debe ser capaz de proponer un modelo lineal (regresión o análisis de la varianza) simple, ante una realidad dada. Diseñar un procedimiento razonable para contrastar la validez del modelo y discutir los resultados obtenidos.
- (3) El alumno debe ser capaz de presentar sus conclusiones por escrito en una secuencia lógica: Objetivos del Estudio-Hipótesis básicas-Métodos utilizado-Análisis de los Datos-Conclusiones.

Además de estos objetivos de conocimiento, se organizó la presentación del material en función de los dos objetivos siguientes:

- (1) Desarrollar una actitud científica y antidogmática ante la realidad, que se traduzca en un comportamiento observable de:
 - diferenciar las opiniones contrastables empíricamente de las que no lo son.
 - adquisición del reflejo de criticar análisis incorrectos de datos y conclusiones obtenidas sin fundamento suficiente.
- (2) Generar una actitud positiva hacia la teoría, siendo consciente de la insuficiencia de un empirismo puro para obtener conclusiones generales.

5.4 Implantación

El proceso de cambio se inició en el curso 81/82, dándose por finalizado en sus líneas básicas en el curso 85/86. Las modificaciones se fueron introduciendo de forma paulatina, para que tanto los estudiantes como los profesores fuesen adaptándose sin giros traumáticos al nuevo enfoque de la asignatura.

El cambio comenzó eliminando del programa la parte de teoría de la medida y las convergencias estocásticas, sustituyendo la función característica por la función generatriz, e introduciendo una lección de diseño de experimentos y otra sobre el modelo de regresión lineal. El texto utilizado

fue Kreyszig (1970), que se impartió prácticamente en su totalidad. En síntesis, el 75 % del curso se dedicaba a fundamentos y el 25 % a las aplicaciones.

En los años siguientes, y a una velocidad marcada por la disponibilidad de apuntes y material didáctico para los nuevos temas, se dividió la asignatura en dos cuatrimestres: el primero contiene análisis exploratorio de datos, probabilidad, inferencia básica (muestreo, estimación, contrastes y diagnosis) y control de calidad. El grado de detalle y el nivel matemático corresponden al primer tomo de Peña (1987). El segundo cuatrimestre está dividido en partes iguales entre Diseño de Experimentos y Regresión. El texto es el segundo tomo de Peña (1987).

En definitiva, al final del proceso, la parte de probabilidad y Fundamentos de Estadística ha pasado de ocupar el 100 % del programa al 40 % y un 60 % del contenido actual corresponde a temas nuevos. Además el enfoque ha cambiado sustancialmente, eliminando todos los detalles instrumentales que no son necesarios para entender los conceptos principales, ni para las aplicaciones a las que el futuro ingeniero tendrá que enfrentarse.

A lo largo de este proceso se organizó un Seminario permanente para los profesores de la Cátedra, donde se discutieron extensamente el contenido y pedagogía de los nuevos temas introducidos, se potenció la utilización del ordenador por parte del profesorado y se aseguró una cierta cohesión en el proceso de reciclaje.

Paralelamente, el Catedrático de la asignatura dirigió un Seminario para profesores de otras Cátedras, usuales potenciales de la Estadística, donde siguiendo el texto de Box, Hunter y Hunter (1988) se intentó fomentar la utilización de la Estadística en las prácticas de Laboratorio y en el lenguaje técnico de otros Departamentos de la Escuela. Este Seminario tuvo un éxito notable y acudieron profesores de los Departamentos de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática e Informática, Organización, Materiales y Nuclear.

La evaluación de la asignatura se ha modificado también en función de los objetivos antes enunciados. Los alumnos pueden realizar un trabajo voluntario en cada cuatrimestre, que está diseñado en función de los tres objetivos de conocimiento. En el primer cuatrimestre el alumno debe estudiar una variable aleatoria de su interés: recogiendo datos y analizándolos desde el punto de vista descriptivo, suponiendo un modelo probabilístico, estimando los parámetros, contrastando hipótesis y evaluando críticamente las hipótesis realizadas y el ajuste del modelo a los datos. En el segundo cuatrimestre el alumno puede optar entre diseñar un experimento factorial completo o fraccional con al menos tres factores para estudiar un sistema

por él elegido, o construir un modelo de regresión múltiple. En cualquier caso se espera que el alumno contraste las hipótesis básicas mediante un análisis cuidadoso de los residuos del modelo y que analice críticamente la relevancia de los resultados y la aportación del método estadístico al avance del conocimiento en el tema elegido. (Véase Peña, Molina y Cordeiro (1987) para una discusión más detallada de la enseñanza del diseño de experimentos en la ETSII, UPM).

La realización de trabajos supone un 20 % de la nota. El otro 80 % depende de un examen compuesto de preguntas cortas conceptuales (50 %) y dos ejercicios prácticos donde siempre al menos uno incluye un análisis de datos reales o simulados.

Un problema central en la implantación del programa y del nuevo enfoque de la asignatura ha sido la carencia de un Centro de Cálculo o aula informática donde puedan acudir los estudiantes para realizar sus cálculos. El problema es grave ya que cada año cursan la asignatura unos 750 estudiantes. Hasta ahora la Cátedra ha tratado de paliar estas deficiencias en la estructura:

- (1) proporcionando a los alumnos un programa en BASIC que efectúa regresión y diseño de experimentos y que ellos puede utilizar en sus propios equipos o calculadoras programables,
- (2) Utilizando los escasos PCs disponibles en la Cátedra (que se han obtenido en su mayoría sin ayuda alguna de la Universidad) para que los grupos con un número reducido de alumnos (tarde) puedan realizar prácticas, analizando datos reales con la ayuda del programa MINITAB.

Finalmente, el curso 86/87 se inició el programa de Doctorado, "Métodos Estadísticos para la Mejora de la Calidad" que incluye, entre otras, las asignaturas de Fiabilidad, Estadística Industrial, Diseño de Experimentos, Análisis Multivariante y Series Temporales. Actualmente hay cinco alumnos inscritos en el programa.

5.5 Evaluación

Este proceso de cambio se ha ido controlando mediante encuestas de evaluación de la asignatura, realizadas a final de curso; los resultados obtenidos por los estudiantes en los exámenes parciales y finales y siguiendo la asistencia a clase de los estudiantes a lo largo del curso.

Las encuestas han indicado un aumento progresivo, tanto del interés despertado por la asignatura en los estudiantes, como de su satisfacción al cursarla. En el curso 82/83 la Estadística pasó a ser juzgada por los estudiantes como la mejor enfocada de las asignaturas de tercero y una de las más amenas de los tres primeros cursos de la carrera de Ingeniería

Industrial. Estas buenas calificaciones se han mantenido en años siguientes, mejorando además en otros aspectos (adecuación entre el examen y el contenido, utilidad del material didáctico, etc.).

La experiencia de realizar los trabajos es juzgada muy positivamente por los estudiantes, observándose cada año notas significativamente más altas entre los que realizan los dos trabajos prácticos.

Finalmente, el grado de asistencia a clase de los estudiantes es muy alto y se mantiene aproximadamente constante a lo largo del curso académico.

Las mayores dificultades encontradas para avanzar en la implantación de una enseñanza más eficaz son: la masificación de la enseñanza en la Escuela (750 alumnos para 7 profesores), la falta de recursos informáticos y la ausencia de estímulos y apoyo para la mejora de la enseñanza en nuestra Universidad. Creemos que aunque el grado de satisfacción aparente de los alumnos es aceptablemente alto, queda todavía mucho por hacer para conseguir una calidad en la enseñanza de la Estadística acorde con el esfuerzo de nuestros estudiantes y las necesidades actuales de la sociedad española.

6. LA EXPERIENCIA DE LA E.T.S.I.A., U.P.V.

6.1 Antecedentes

Desde la reforma de 1964 la enseñanza de la Estadística en la carrera de Ingeniero Agrónomo ha quedado limitada a una asignatura cuatrimestral con 5 horas lectivas semanales, que se cursa en Valencia desde octubre a primeros de febrero.

La asignatura ha venido impartándose durante varios años con un enfoque relativamente tradicional, ocupando la Teoría de la Probabilidad y la Inferencia unas 12 semanas. Aunque desde una óptica clásica esta extensión difícilmente puede calificarse de excesiva, el carácter cuatrimestral de la asignatura sólo dejaba 3 semanas para temas de aplicación, semanas que se dedicaban casi exclusivamente a los modelos de regresión múltiple.

La asignatura se impartía a partir de unos Apuntes editados por la Cátedra, complementados por una colección de problemas resueltos, muchos de ellos no triviales. El prurito de demostrarlo todo o casi todo, como sinónimo de una asignatura "digna" de una Escuela Superior, subyacía en todo el enfoque adoptado. Pese a ello la asignatura y su profesorado han sido siempre muy bien calificados en las encuestas realizadas anualmente por el alumnado, y la Cátedra se ufana de haber captado estos años a algunos de los mejores alumnos de la Escuela.

Con este convencimiento, la asignatura se había ido reorientando estos últimos años con medidas como las de eliminar algunos temas de la primera parte, o introducir un seminario voluntario de manejo de un paquete estadístico. Finalmente, el lanzamiento a finales de 1988 en la Universidad Politécnica de Valencia del Proyecto de Innovación Educativa, que se comenta en el siguiente apartado, ha sido el detonante de una reestructuración total de la asignatura que se ha puesto en marcha con carácter experimental el presente curso 1989/90.

6.2 El proyecto de Innovación Educativa de la U.P.V.

Con un fuerte apoyo desde el Rectorado y con la colaboración entusiasta de un número, quizás reducido pero muy motivado, de profesores y alumnos, la U.P.V. lanzó a finales de 1988 un ambicioso Proyecto de Innovación Educativa (PIE).

La primera fase del PIE se centró en un análisis y debate en profundidad de la problemática docente de la UPV, tarea para la que se contó con el apoyo de expertos muy destacados, tanto nacionales como extranjeros, y con la participación en las Mesas Redondas organizadas al efecto de numerosos profesores y alumnos de la Universidad.

Las conclusiones obtenidas en esta fase de diagnóstico hicieron especial hincapié en cuestiones como el sobredimensionamiento de los programas, que obliga a los alumnos a adoptar estrategias de selección, las enseñanzas basadas en la clase magistral, que no propician el trabajo creativo y de autoformación del alumno, y el énfasis en una enseñanza teórica altamente desmotivadora para estudiantes de carreras técnicas.

El elevado número de suspensos (síntoma indiscutible del mal funcionamiento del sistema), se traduce en que la evaluación, la fase más estéril del proceso de enseñanza aprendizaje, se haya convertido en el núcleo del mismo, núcleo en función del cual se orienta y prioriza toda la actividad del alumno y, en muchos casos, del profesor.

Frente a una formación de carácter esencialmente teoricista y enciclopédica se propugna desde el PIE una formación orientada hacia el "saber hacer", que requiere una fuerte dosis de experimentalidad y de autoformación y que implica una metodología de enseñanza-aprendizaje activa, dialéctica, práctica y crítica.

Las conclusiones de la primera fase del PIE fueron aprobadas en una reunión especial de la Junta de Gobierno de la UPV. Entre ellas figuran la creación de una Comisión de Mejora y Control de la Calidad de la Enseñanza, y acuerdos puntuales, como el de la preparación y edición de un material autoinstructivo con los prerrequisitos de conocimientos necesarios

para seguir el primer curso en la UPV, material que ya fue puesto a disposición de los alumnos de nuevo ingreso en julio de 1989.

Dichas conclusiones incluyeron también el acuerdo de apoyar durante el curso 89/90 aquellos Proyectos de Innovación Docente (PID) que fueran propuestos por el profesorado. Dichos proyectos podrían abarcar una asignatura, curso o especialidad, y se les facilita tanto el apoyo técnico preciso como las dotaciones de recursos indispensables. La aprobación de dichos proyectos la realiza la mencionada Comisión de Calidad, que se responsabiliza también de su seguimiento de control.

En este contexto se planteó y fue aprobado un PID para la asignatura de Estadística de 3.º de la E.T.S.I.A., proyecto que se describe brevemente a continuación.

6.3 Principios básicos del PID para la Estadística en la E.T.S.I.A.

De acuerdo con los enfoques elaborados en el marco del PIE la reestructuración metodológica y de contenidos de la Estadística en la E.T.S.I.A. se ha fundamentado sobre los siguientes principios:

- Lo importante es lo que aprenden la mayor parte de los alumnos y no lo que enseña. En el proceso de enseñanza-aprendizaje hay que desplazar el énfasis hacia el segundo término del binomio. Dicho de otra forma: el proceso debe centrarse más sobre el alumno que sobre el profesor.
- Lo que un alumno aprende realmente tiene poco que ver con lo que reproduce, de forma más o menos memorística o aleatoria, en un examen realizado tras unos días dedicados intensivamente al "estudio" o "repa-so" de la asignatura. Lo que un alumno aprende realmente son aquellos conocimientos que 10 años después está motivado y capacitado para aplicar en su profesión. Ese aprendizaje es el único útil, tanto para el alumno como para la sociedad que es la que, en definitiva, financia el proceso.
- El conocimiento tecnológico se adquiere fundamentalmente "haciendo" y "viendo hacer". El aprendizaje es básicamente una labor personal de la que es el alumno, y no el profesor, el protagonista activo. El profesor es sobre todo un "generador de recursos y de situaciones de aprendizaje", pero es el alumno el que aprende, y esto exige su participación activa en todas las fases del proceso y, concretamente, en las clases.
- Tan importante como enseñar conocimientos concretos es despertar en el alumno una motivación positiva hacia los métodos estadísticos, motivación que sólo puede surgir del convencimiento de que constituyen herramientas valiosísimas para el análisis y la toma de decisión en los problemas reales que pueden surgir en el futuro ejercicio profesional.

Obviamente la única forma de transmitir este convencimiento es el trabajo sobre numerosos problemas reales, o, al menos, realistas, relevantes para el alumno. En este sentido es esencial comunicar la experiencia personal del profesor al respecto, estando el autor de acuerdo con JOINER cuando opina (refiriéndose a Estados Unidos) que uno de los problemas de la enseñanza de la Estadística es que "la mayor parte de los profesores que enseñan Estadística no la han utilizado nunca para resolver problemas en la realidad".

6.4 Reorganización de la asignatura

El nuevo enfoque de la asignatura se ha traducido en una profunda reorganización, tanto de sus contenidos como de la metodología docente.

Desde el punto de vista de los contenidos nuestra experiencia personal, basada en bastantes años de trabajo de formación y consultoría en numerosas e importantes industrias, es concluyente en el sentido de que todo ingeniero necesita un buen conocimiento de las técnicas de Regresión Múltiple y Diseño de Experimentos. En consecuencia toda la asignatura se ha reorientado para centrarla sobre dichas técnicas.

Esta orientación se ha llevado a cabo con todas sus consecuencias e implica, en particular, que los conceptos generales de Cálculo de Probabilidades e Inferencia Estadística se dan sólo si resultan necesarios, y sólo al nivel al que son necesarios, para el manejo de los modelos mencionados. Muchos de estos conceptos, como por ejemplo los de riesgos de 1.^a y 2.^a especial o el de intervalos de confianza, se introducen sólo en el momento en el que resultan indispensables durante el desarrollo de dichos modelos.

El carácter cuatrimestral de la asignatura impide tratar otras técnicas de enorme importancia, en especial las de inspección y control estadístico de procesos, así como temas más avanzados de análisis multivariante o series temporales. Estos temas son, sin embargo, el objeto de los cursos de doctorado del Departamento.

Desde el punto de vista organizativo la asignatura se ha estructurado en 15 Unidades Temáticas, cada una de las cuales debe desarrollarse durante las 5 horas de una semana. Estas 5 horas se agrupan en dos sesiones, de 2 y 3 horas respectivamente. (Esta separación en dos sesiones se ha debido a problemas de horarios. El ideal sería, en nuestra opinión, agrupar las 5 horas en una mañana o tarde en la que el alumno se dedicaría sólo a la Estadística. Actualmente las dos sesiones se imparten, según los grupos, en un mismo día o en 2 días consecutivos).

La primera hora de la primera sesión se dedica a la exposición por el profesor de las ideas básicas de la Unidad y a su contextualización en el

marco de los conocimientos ya adquiridos o por adquirir. El método básico utilizado generalmente en las exposiciones es el estudio de un caso concreto. La segunda hora la dedican los alumnos, organizados en equipos de 2 ó 3 personas, al estudio de la Unidad Temática en el material autoinstructivo que se les facilita y que contiene numerosos apartados de autoevaluación. Este estudio se realiza en la propia clase bajo la dirección del profesor que aclara dudas y plantea cuestiones destinadas a fomentar la creatividad y el espíritu crítico de los estudiantes.

La sesión de 3 horas se dedica íntegramente a trabajos prácticos, centrados sobre ejemplos relativos a los temas desarrollados en la Unidad Temática. Para esta sesión cada grupo, inicialmente de 80 alumnos, se parte en dos subgrupos de 40.

En general el profesor dedica una primera parte, alrededor de media hora, al desarrollo delante de los alumnos de un ejemplo real completo, utilizando un ordenador portátil con pantalla de cristal líquido para mostrar las salidas mediante el proyector de transparencias. Seguidamente los alumnos pasan a las aulas informáticas, donde, en equipos de 2 ó 3 personas, reproducen en primer lugar el ejemplo y realizan seguidamente otros análisis análogos sobre datos que se les proporcionan, siempre bajo la dirección y supervisión del profesor.

La última media hora se dedica generalmente a la evaluación, que se lleva a cabo mediante la realización de un breve trabajo que se propone a cada equipo. Estos trabajos son corregidos y discutidos en su caso posteriormente con los autores, y constituirán la base para la calificación final en la asignatura.

Siguiendo los consejos dados por prestigiosos autores (Joiner, 1986) hemos centrado toda la asignatura sobre el estudio de datos reales. Para ello ha resultado fundamental el disponer de una gran cantidad de ejemplos reales, fruto de la experiencia personal existente en la Cátedra como resultado de sus convenios de colaboración con la industria. Adicionalmente se realiza una encuesta sobre diferentes temas a los alumnos el primer día de clase. Los resultados tabulados son introducidos por los alumnos en el ordenador en la sesión práctica de la primera Unidad Temática, y son posteriormente utilizados en diversas ocasiones a lo largo de la asignatura.

Hemos considerado fundamental utilizar intensamente durante la asignatura un paquete estadístico. El recurso del ordenador es, en nuestra opinión, indispensable pues permite reducir o eliminar el tiempo dedicado a tediosas manipulaciones aritméticas de los datos y hace que los alumnos puedan centrarse en las cuestiones relevantes del análisis crítico y la interpretación de los resultados. Además dicho recurso es ineludible si se desea trabajar con datos reales y es limitado el tiempo disponible. Por otra

parte sería inconcebible enseñar a los futuros ingenieros del siglo XXI una Estadística al margen de los ordenadores. El paquete que utilizamos es el STATGRAPHICS, elección que consideramos muy adecuada por su sencillez de manejo, al estar basado en menús en pantalla, su carácter interactivo, la potencia de sus salidas gráficas y el enfoque moderno de sus análisis.

La evaluación periódica de los progresos del alumnado, mediante los ejercicios realizados al final de las sesiones prácticas, sirve también para evaluar el propio proceso de enseñanza-aprendizaje. Con el fin de complementarla sobre puntos que consideramos especialmente relevantes, como la buena comprensión de los conceptos fundamentales, se realizan esporádicamente y sin aviso unos breves ejercicios escritos en los que no se puede consultar material alguno. Estos ejercicios son anónimos, y los resultados de su corrección, que se realiza sólo sobre una muestra aleatoria, se utilizan para controlar el proceso de enseñanza al poner de manifiesto puntos esenciales que pueden haber quedado confusos para la mayoría.

6.5 Ejemplo de una Unidad Temática

Para ilustrar mejor el funcionamiento del nuevo enfoque adoptado, aplicando también aquí el método del caso, exponemos como se llevó a cabo en una Unidad Temática concreta. Nos centramos en la impartida en la cuarta semana de clase dedicada a la Estadística Descriptiva en variables bidimensionales. Al llegar a esta Unidad los alumnos conocen y manejan a nivel operativo los conceptos de población, variables aleatoria y muestra, así como las técnicas más importantes de Estadística Descriptiva univariante.

En la Unidad Temática se desarrollan las siguientes cuestiones: Variables bidimensionales (incluyendo una idea intuitiva de los conceptos de distribuciones marginales y condicionales), diagramas de dispersión, coeficiente de correlación y recta de regresión (incluyendo unas ideas sobre análisis de residuos). Estas cuestiones, son expuestas sintéticamente por el profesor durante la primera hora y son estudiadas a continuación a lo largo de la segunda hora por los alumnos.

La enseñanza y el aprendizaje se apoyan sobre un material autoinstructivo preparado al efecto que incluye varios apartados con cuestiones destinadas a la autoevaluación. El tema se desarrolla centrándolo sobre un problema real, el estudio de la relación existente entre el consumo de energía diario (en invierno) en una factoría y la temperatura del día considerado. Se manejan datos reales de una importante empresa (modificando los consumo multiplicándolos por una constante arbitraria con el fin de reservar su confidencialidad).

La primera media hora de la sesión de prácticas se centra en el análisis de los datos anteriores mediante el paquete STATGRAPHICS, análisis realizado por el profesor en clase usando un ordenador portátil y proyectando los resultados mediante una pantalla de cristal líquido. El análisis se aprovecha para plantear cuestiones adicionales, como la utilización de una regresión parabólica en vez de lineal (utilización que no plantea problema conceptual alguno y que es trivial si se dispone de un paquete estadístico) o la comparación de los consumos medios de los diferentes días de la semana a partir de un análisis de los residuos del ajuste.

Seguidamente los alumnos trabajan durante 2 horas en el aula informática, agrupados en equipos de 2 ó 3 personas. En primer lugar deben reproducir el análisis realizado en clase, aclarando el profesor las dudas que se les planteen. Seguidamente, y siempre bajo la dirección y asesoramiento del profesor, los alumnos se centran sobre otro problema: el estudio de la relación existente entre el peso de una persona y su estatura, en base a los datos recogidos en la encuesta realizada en clase. Entre las cuestiones cuyo análisis se les somete están las siguientes: ¿hasta qué punto es "fuerte" la relación entre ambas variables? ¿Es dicha relación lineal (en el margen) de valores estudiados? ¿Es similar la relación en los chicos y en las chicas? ¿Hay algún caso anómalo entre los datos recogidos?

La última media hora se dedica a la evaluación. A los alumnos se les ha explicado que el análisis de regresión puede también aplicarse al estudio de la relación que liga una variable aleatoria con otra que no lo es. Se facilita a cada equipo un fichero con los datos que la dureza de 105 asientos de poliuretano junto con el valor del ratio polioli/isocianato empleado en cada caso en su fabricación así como el código del molde utilizado. Se pide a los alumnos estudien la relación entre la dureza y el ratio, así como si existen diferencias de dureza entre moldes, para un mismo ratio. En particular se pide que se determine qué ratio debe utilizarse si se desea que la dureza sea de 180 newtons, y que se estime aproximadamente entre qué límites fluctuará la dureza del 95 % de los asientos producidos en estas condiciones. El tiempo disponible para este ejercicio es de 30 minutos, debiendo entregarse en un folio un resumen de las conclusiones obtenidas.

Un 80 % de los alumnos que realizaron la evaluación (que por cierto son la totalidad de los asistentes a clases desde el primer día, puesto que no se ha producido un sólo abandono de la asignatura en el mes y medio en que se está impartiendo) la superó de forma satisfactoria.

6.6 Consideraciones finales

El proyecto que hemos descrito se está llevando a cabo el presente curso

en plan experimental y sus resultados deberán ser evaluados al finalizar el mismo. Queremos avanzar ya, sin embargo, nuestra opinión de que estos resultados son extremadamente satisfactorios, opinión que es plenamente compartida hasta el momento por los alumnos afectados.

No se nos oculta las dificultades implícitas en un enfoque como el que hemos adoptado. Quizás una de las más importantes sea la derivada de la sobrecarga de trabajo que impone al profesor, especialmente durante el primer año en el que debe elaborar el material autoinstructivo.

Desde el punto de vista de los recursos la posibilidad de acceso a un número suficiente de PCs puede ser una limitación importante. Es innegable, sin embargo, que toda Escuela Técnica debe concienciarse de la necesidad ineludible de disponer de un aula informática, indispensable no sólo para la Estadística sino también para muchas otras materias. Un aula con 20 PCs con disco duro puede costar unos 3 millones de pesetas, lo que debe resultar una inversión perfectamente asumible a nivel de todo un Centro. El coste de un ordenador portátil y la pantalla para el retroproyector puede estimarse en medio millón adicional. En nuestro caso estos costes han sido asumidos en su mayor parte dentro del proyector PIE, financiándose también parcialmente a partir de los ingresos obtenidos a partir de convenios.

En nuestra opinión, sin embargo, la dificultad principal que puede frenar la generalización de un enfoque como el aquí desarrollado es la falta de un profesorado adecuadamente preparado y motivado. Respecto al primer punto es esencial que se potencie la colaboración con la industria, cuyo principal beneficio no es, como a menudo se piensa, el económico, sino la experiencia en problemas reales que proporciona al profesorado.

Con respecto a la motivación del propio profesorado para que destine una parte importante de sus esfuerzos a la mejora de la calidad de su labor docente, la Universidad debe impulsar desde sus órganos rectores un auténtico *cambio cultural* que propicie el que los esfuerzos en dicho sentido sean reconocidos, valorados y recompensados por la institución, dado que, desgraciadamente, no es ésta la situación actual en la inmensa mayoría de las universidades españolas.

7. CONCLUSIONES

Las tres experiencias expuestas coinciden en unos criterios comunes, que resumiremos a modo de conclusión:

a) En la situación actual (una única asignatura cuatrimestral o anual en toda la carrera), creemos que el enfoque del programa debe potenciar las

aplicaciones, manteniendo únicamente la base teórica necesaria para la comprensión de los procedimientos explicados.

b) Los programas de Estadística de las ETS deberían incluir con extensión suficiente los temas de diseño de experimentos, los métodos de control y mejora de la calidad y una introducción a la fiabilidad de productos y procesos.

c) A pesar de las limitaciones del entorno: la ausencia de infraestructura informática, masificación, número de asignaturas en paralelo, entre otras, debería tenderse hacia la realización de prácticas de la asignatura con ordenador, y a que los alumnos diseñasen y analizaran algún experimento. Además, la realización de informes escritos sobre dichas prácticas, mejorará su capacidad de síntesis y de expresión en lenguaje no estrictamente estadístico.

d) En todas las asignaturas de la carrera, y no sólo en estadística, debería tenderse hacia una disminución de las horas de docencia, ampliando en consecuencia las horas de trabajo personal del alumno, única forma de entender a fondo los conceptos. En este caso deberíamos rediseñar el contenido de lo que se explica en clase y programar los problemas y el estudio complementario que se recomienda al alumno.

Desgraciadamente, el actual sistema de creación de plazas, en función únicamente de la carga docente, no favorece esta necesaria reducción.

e) La docencia mejoraría mucho si se consiguen becas para estudiantes de tercer ciclo a cambio de ayudar en la docencia de la asignatura: cabría la posibilidad de subdividir los grupos en subgrupos para discusión de conceptos y para el control y la corrección de problemas resueltos por los alumnos. Sin continuidad en la ayuda de estos becarios es prácticamente imposible esta operación.

f) Los profesores de estadística en las ETS deben hacer un esfuerzo por convencer a sus colegas de otros Departamentos, (especialmente los que realizan prácticas de laboratorio) de la utilidad de nuestra asignatura. Un buen método puede ser invitarles a un seminario o curso intensivo, donde se exponga la utilidad de los diseños experimentales, los modelos lineales de regresión, el análisis de la varianza y otros métodos estadísticos aplicados. El objetivo sería que los alumnos utilizaran la Estadística en los laboratorios de los Departamentos de Ingeniería.

g) El currículum actual de enseñanza de Estadística es insuficiente y sería deseable ampliarlo. El éxito de esta operación depende de nuestra capacidad de convencer a nuestros colegas de que estamos utilizando adecuadamente las horas disponibles, y aportando a los futuros técnicos una herramienta muy valiosa para su vida profesional.

h) Es importante revisar periódicamente el contenido de los programas, con el fin de actualizarlos y mejorarlos. Esta es una labor de equipo que debe involucrar a todos los profesores responsables de la enseñanza.

i) El intercambio de experiencias, en el caso de los tres autores del presente trabajo, ha sido muy positivo a la hora de diseñar los respectivos programas, implantarlos y controlar su funcionamiento.

j) La Universidad debe propiciar desde sus órganos rectores un *cambio cultural* que asegure que los esfuerzos aislados de cambio y mejora sean reconocidos, valorados y recompensados. De este modo estas experiencias pueden ser un ejemplo y un estímulo para otros grupos que puedan iniciar el mismo camino.

REFERENCIAS

- ASA (1980). "Preparing statisticians for Careers in industry". Report of the ASA section on Statistical Education Committee on Training of Statisticians for Industry. *The American Statistician*, 34, 2, 65-75.
- BOX, G. E. P. (1976). "Science and Statistics". *Journal of the American Statistical Association*, 71, 356.
- BOX, G. E. P., HUNTER, W. G. y HUNTER, J. (1988). *Estadística para Investigadores*, Reverté.
- GODFREY, B. (1986). "Future Directions in Statistics". Center for Quality and Productivity Improvement (University of Wisconsin). Report 10.
- HOGG, R. et al (1985). "Statistical Education for Engineers: An Initial Task Force Report". *The American Statistician*, 39, 3, 168-175.
- ISHIKAWA, K. (1976). *Guide to Quality Control*. Asian Productivity Organization.
- JEREZ, M. (1972). *Fundamentos Matemáticos de la Estadística y de la Información*. E.T.S.I.I.
- JOINER, B. L. (1986). "Transformation of the American Style of Teaching Statistics". Center for Quality and Productivity Improvement (University of Wisconsin). Report 10.
- KOTZ, S. y SMITH, S. (1988). "The Hausdorff space and Applied Statistics: a view from the USSR". *The American Statistician*, 42, 4, 24-244.
- KREYSZIG, E. (1970). *Introducción a la Estadística Matemática*. Limusa.
- MOSTELLER, F. (1988). "Broadning the Scope of Statistics and Statistical Education". *The American Statistician*, 42, 2, 93-99.

- MOTHES, J. y TORRENS-IBERN (1960). *Estadística Aplicada a la Ingeniería*. Ariel.
- PEÑA, D. y PRAT, A. (1986). *Cómo controlar la calidad*. Manuales del IMPI, n.º 16.
- PEÑA, D. (1987). *Estadística, Modelos y Métodos*. (2 Vol.). Alianza Universidad Textos.
- PEÑA, D., MOLINA, C. y CORDERO, M. (1987). "La enseñanza del diseño de Experimentos en Ingeniería: algunas experiencias prácticas". *Questio*, 11, 1, 121-130.
- PFEIFER, C. G., MARQUARDT, D. W. y SNEE, R. D. (1986). "The Future of Statistics in Industry and Government". Center for Quality and Productivity Improvement (University of Wisconsin). Report 10.
- PRAT, A. y PEÑA, D. (1989). "Modifying the Engineering curricula in Spain". *Proceedings Conference on Statistics and Probability in Engineering Education*. (en prensa).
- RIOS, S. (1967). *Métodos Estadísticos*. Ediciones del Castillo.
- TANNER, M. A. (1985). "The use of Investigations in the Introductory Statistics Course". *The American Statistician*, 39, 4, 306-310.
- VANDERMAN, S. y DAVID, H. T. (1984). "Statistics for Quality and Productivity: A new graduate-level Statistics course". *The American Statistician*, 38, 4, 235-243.