Special issue
Albert Prat in memoriam
2006

SORT

Statistics and Operations Research Transactions

Sponsoring institutions

Universitat Politècnica de Catalunya
Universitat de Barcelona
Universitat de Girona
Universitat Autònoma de Barcelona
Institut d'Estadística de Catalunya

Supporting institution

Spanish Region of the International Biometric Society

Generalitat de Catalunya
Institut d'Estadística de Catalunya

SORT

Albert Prat in memoriam
Special issue. 2006.

Arran de la mort sobtada del Prof. Albert Prat, s'edita la present publicació per gentilesa de l'Institut d'Estadística de Catalunya (Idescat) que recull les intervencions a l'acte d'homentatge en la seva memòria organitzat conjuntament per l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona i el Departament d'Estadística i Investigació Operativa de la Universitat Politècnica de Catalunya el dia 21 d'abril de 2006.

Albert Prat i la docència

Testimoni. **Joan Bisbal** (Professor del Departament de Resistència de Materials i Estructures Arquitectòniques a l'Enginyeria. Universitat Politècnica de Catalunya.)

Més que un professor. **Rosa Pàmies Vilà** (ex_alumna. Universitat Politècnica de Catalunya.)

Testimoni. **Milena Ràfols** (ex_alumna. Universitat Politècnica de Catalunya.)

Albert Prat y la reforma de la enseñanza de la estadística en las ingenierías españolas
Rafael Romero Villafranca, Universidad Politécnica de Valencia

Albert Prat i la docència per **Moisès Valls** (Professor del Departament d'Estadística i Investigació Operativa. Universitat Politècnica de Catalunya)

Albert Prat i l'estadística

A tribute to Albert Prat by **George Box** (University of Wisconsin-Madison)

A tribute to Albert by **George Tiao** (University of Chicago)

Albert Prat and computational statistics. Working with Albert.
Brian Ford, OBE Founder Director of The Numerical Algorithms Group (NAG)

Contribuciones de Albert Prat a la estadística industrial y la calidad
Daniel Peña, Universidad Carlos III de Madrid

Alguns dels articles publicats per Albert Prat

La enseñanza de la estadística en las escuelas técnicas
Daniel Peña*, ETSI Industriales, U. P. Madrid,*
Albert Prat*, ETSI Industriales, U. P. Barcelona*
Rafael Romero*, ETSI Agrónomos, U.P. Valencia*
Estadística Española, Vol. 32, Núm. 123, 1990, pàgs. 147 a 200

Case study: experimental design in a pet food manufacturing company
Albert Prat and Xavier Tort
Department of Statistics. ETSIIB.
"Quality Engineering" 3 (1), 59-73 (1990-91).

Using the focus architecture for developing knowledge-basic front ends: a KBFE for forecasting
A. Prat, J. M. Catot, P. Fletcher, J. Lorés and R. Southwick
"Knowledge-Based Systems". Vol 6, No 1, March 1993.

Algunes reflexions al voltant de l'estadística
Albert Prat

Lliçó inaugural del curs 1994-1995
Facultat de Matemàtiques i Estadística. Universitat Politècnica de Catalunya.

A bivariate plot useful in selecting a robust design
Albert Prat and Pere Grima
Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain
Quality improvement through statistical methods. Bovas Abraham. Birkhäuser. (1999).

Time series modeling using mobile devices and broadband Internet
Albert Prat, Ignasi Solé, David Remondo, Daniel Martínez and Josep M. Catot
COMPSTAT'2002

Albert Prat i la docència

Vaig conèixer l'Albert en la meva etapa d'estudiant de 3r curs, en l'ETSEIB, en l'assignatura d'"Estadística". Llavors, els que cursàvem la carrera provenint de "Pèrit Industrial", teníem les classes en un curs especial, de 18:00 a 22:00h del vespre. Des d'aquell curs acadèmic 1969-1970 ja han passat molts anys, 35, però el record que en guardo com a professor no s'ha esborrat mai. Amable, claredat d'exposició, dedicació al límit (recordo la quantitat de classes extres, els dissabte pel matí, sense que per a ell signifiqués cap increment econòmic, i només per a donar-nos un plus d'ajut en la comprensió i millor assimilació dels continguts de l'assignatura).

Tinc gravada la seva expressió en el sopar que, amb agraïment i per unanimitat, li vam oferir els alumnes del curs. Ens digué, entre sorpresa i satisfacció personal, que mai li havia succeït quelcom semblant. De segur, però, que n'haurà tingut moltes més de satisfaccions al llarg de la seva activitat docent.

L'altre record que d'ell guardo, és la seva integritat personal, demostrada en la defensa de les seves conviccions, tant socials com polítiques, i que el van conduir a ser agredit físicament per la policia del règim anterior, com ens va quedar palès al mostrar-nos, en l'abans esmentat sopar, les senyals que en el seu cos, quedaven gravades.

Molt més tard, i ja jo com a professor de l'Escola, vam continuar la nostra relació, en part també beneficiada per la proximitat geogràfica dels nostres despatxos. Aquesta es desenvolupà ja a un altre nivell, en general sobre problemes derivats de la nostra professió i, si bé, potser en certs moments no compartíem del tot algunes idees, els trets, però, més significatius que d'ell guardava, seguien allí i així és com el vull recordar.

Joan Bisbal
Professor del Departament de Resistència de Materials i
Estructures Arquitectòniques a l'Enginyeria

Més que un professor

Rosa Pàmies Vilà

Tanco els ulls i intento recordar...

És dia tretze de setembre del 2004. Onze del matí.
Primera setmana de classe després d'un estiu desconnectada de la facultat. Segons marcava l'horari: *Estadística I* amb Albert Prat. Aula B3 a vessar (ja se sap, eren els primers dies de classe...). Amb la puntualitat que sempre el caracteritzava (cinc minuts abans de l'hora ja era darrera la porta esperant que el professor anterior acabés la classe) va arribar a l'aula. Presentació de l'assignatura i introducció a l'Estadística i al seu paper en la Gestió de la Qualitat: "si us agrada, hi ha una assignatura on es treballa aquest tema, fixeu-vos cap a final de quadrimestre que veureu companys de quart als passadissos d'aquí fora fent proves amb *helicòpters de paper*..." Més tard, jo en seria una.

I és que a la primera presa de contacte, una s'adonava que l'Albert no era d'aquelles persones que reneguen del treball. No es passava el dia esperant l'hora de sortida, les setmanes esperant els divendres, ni els mesos planificant les vacances... Estic convençuda que considerava la seva feina un plaer. Era capaç d'oferir-nos-ho tot, tot el que estigués al seu abast era poc per intentar-nos obrir el camp de visió que moltes vegades els alumnes només centrem en anar passant els exàmens.

Les seves classes no anaven dirigides a fer-nos aprovar una assignatura sinó a que comprenguéssim allò que ens explicava. Amb un rigor exhaustiu —quantes vegades el veies corregir petits errors tipogràfics en les transparències!— ens volia fer gaudir d'allò que ell coneixia i era capaç de transmetre'ns. Gaudia ensenyant i com ens va deixar clar el primer dia: "Si fos per mi us aprovaria a tots, així m'asseguraria que a classe només vinguessin els que realment tenen ganes d'aprendre..."

Una mort sobtada fa que al rebre la notícia no t'ho acabis de creure, bé, ben mirat segurament el que passa és que no t'ho vols creure. Em vaig quedar en un petit estat de xoc... però si tenia correus seus de finals de desembre! Com podia ser que el 2 de gener... Estic segura que aquesta condició d'efímera —que ens espanta tant— és la que dóna valor a la vida, però.. No no no, hi ha d'haver un error, l'Albert no!

Inconscientment vaig intentar amagar-me de la realitat eludint aquella veu interior que em feia adonar, que d'avui per demà, havia desaparegut un dels puntals on podia recolzar-me quan tenia qualsevol mena de dubte. Amb ell es podia parlar de tot. Les hores de consultes — i molts dels que som aquí hi estarem d'acord — anaven més enllà del temari: el funcionament de l'escola, la possibilitat de fer màsters, l'enfocament dels projectes finals de carrera, les pràctiques a empreses, els intercanvis dins la carrera, la visió de l'enginyeria... Era una veritable font d'informació, al servei també, dels alumnes.

En un dia com el d'avui, val la pena ser valenta i atrevir-me a escoltar els records dels diàlegs amb ell. Uns diàlegs que m'enfronten a allò que sóc realment i m'ensenyen a aprofitar el que he viscut en el passat com a guia del que em cal trobar en el futur. Perquè tots tenim un camí personal per on avancem segons les nostres decisions individuals, però està clar que som incapaços de fer-lo sols. Els dubtes sempre apareixen i l'Albert era un professor capaç d'ajudar-nos a resoldre el nostre jeroglífic particular.

Tenia la virtut d'observar i sobretot d'escoltar. A més a més, mai defugia dels problemes més personals de l'alumne sinó que intentava comprendre'ls; una empatia constant que ens ajudava a assolir les nostres fites. I aquest interès el podia mostrar al seu despatx de la planta sis, en una fortuïta trobada per l'escola o fins i tot en un encontre casual pel carrer.

Tots recordem aquells que ens han aconsellat tant per seguir endavant com per rectificar o si convé abandonar i provar per un altre camí. Ell n'era un, l'Albert em va fer reprendre l'ànim més d'una vegada quan creia haver decaigut, fent-me veure, que el que realment importa a la vida és allò que ens ha d'ajudar a sentir-nos bé, i que per trobar-ho, primer cal asseure's i esbrinar de què estan fets els nostres somnis.

Poques coses provoquen tanta angoixa com el dubte; saber què hem de fer quan l'elecció no està clara depèn de l'experiència que tinguem i de la informació que tenim acumulada a la nostra ment. Al cap i a la fi, hem de reconèixer que les nostres idees i decisions no són res més que el fruit que recollim de l'experiència dels altres.

Que cada ésser humà és un món únic i irrepetible és un fet indiscutible. Com també ho és que malgrat això necessitem projectar i compartir la nostra individualitat. I estic segura que, ara que li ha tocat recollir l'àlbum i marxar, no ho ha fet amb la recança d'haver deixat un munt de coses a mitges, sinó amb la tranquil·litat d'haver preparat a d'altres per continuar-les; i amb l'esperança de que allò intangible, ja sigui ànima o inconscient, l'ha acompanyat també en aquell darrer instant en què materialment orgànic o immaterialment espiritual ha deixat de ser mortal per passar a ser, per a tots nosaltres, un tros d'eternitat.

Gràcies, Albert.

He començat molts cops aquest article. Volia escriure un article sobre l'Albert Prat, com a estudiant que l'ha tingut com a professor, que ha treballat amb ell a la Comissió Permanent, a la Junta d'Escola …volia escriure'l en reconeixement per la seva preocupació pels estudiants, per la seva lluita per una escola millor, per la seva tasca com a professor. Volia fer-li un petit homenatge personal en agraïment per tot plegat, perquè he estat 4 anys a la comissió permanent amb ell, i perquè sempre n'he admirat la seva preocupació pels estudiants, la il·lusió que transmetia per treballar per una escola millor, la seva capacitat per concebre una escola diferent de la que ha estat en els darrers 150 anys.

En recordo moltes intervencions a la Comissió Permanent, alguna conversa en creuar-nos pel passadís, preocupat per la normativa acadèmica general, pel nou edifici…. el recordo a les classes d'estadística I, com un dels grans professors que he tingut durant la carrera.

Volia deixar per escrit aquest agraïment, aquest petit homenatge, tot i que crec que aquest article no és prou ni reflecteix tot els que li hem d'agrair els estudiants d'aquesta escola.

A mesura que se m'acosta el final de la carrera tinc més clar que de l'escola, més important que el títol, me n'enduré i recordaré l'oportunitat de conèixer alguna gent de qui he après molt. Entre aquesta gent hi ha alguns professors; professors que per sobre de tot són mestres. Per mi l'Albert Prat ha estat un d'ells.

Milena Ràfols

Albert Prat y la reforma de la enseñanza de la Estadística en las ingenierías españolas

Rafael Romero Villafranca

Introducción

Al glosar la figura de Albert Prat, parece natural centrarse preferentemente en sus aportaciones en el campo de la estadística Industrial, tanto como destacado investigador en dicha área como, muy especialmente, en la enorme labor que desarrolló difundiendo el pensamiento y las técnicas estadísticas en las numerosas empresas que tuvieron el privilegio de contar con su colaboración desde la cátedra de Estadística de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona.

Sin embargo, para algunos de los que le conocimos, el mejor legado que Albert ha dejado a la sociedad en la que vivió, lo constituye la formación que inculcó en las innumerables promociones de ingenieros a los que él y sus colaboradores enseñaron a lo largo de más de un cuarto de siglo.

En estas breves notas escritas en su recuerdo, quisiéramos recordar cómo era la docencia de Estadística en las ingenierías españolas hace treinta años, y las motivaciones y la naturaleza de la profunda transformación que dichas enseñanzas experimentaron, en un proceso que Albert lideró de forma decisiva.

La enseñanza tradicional de la Estadística en las ingenierías españolas

Hace treinta años el "nivel" y el "rigor" eran una exigencia incuestionable en la enseñanza de cualquier materia de lenguaje matemático en las escuelas españolas de ingenieros. En modo alguno pretende quien esto escribe cuestionar con carácter general estas exigencias, pues, muy al contrario, la mayoría de los profesores que quedamos de aquella época vemos con creciente preocupación la progresiva degradación de los niveles de calidad y exigencia en muchas escuelas de ingenieros de nuestro país. Sin embargo, en el caso concreto de la Estadística, esta pretendida exigencia de un elevado nivel, unida a enfoques poco adecuados de la materia, conducía generalmente a resultados claramente insatisfactorios.

La Estadística se planteaba como una "rama de las Matemáticas que trata de los fenómenos aleatorios", y, como tal, el rigor en la definición de los conceptos de la Teoría de la Probabilidad y la obsesión por demostrar casi todos los resultados expuestos invadían y se apoderaban de la asignatura. Paralelamente, esa profundización en los fundamentos teóricos apenas dejaba tiempo para desarrollar las técnicas estadísticas aplicadas al análisis de problemas ingenieriles, que solían limitarse a algunos métodos muy elementales y poco motivadores.

Pese a la meritoria labor desarrollada por algunos profesores, que eran excelentemente considerados por sus alumnos, dos hechos constatables en la mayoría de los casos eran un claro exponente del fracaso docente en la materia: por una parte, la Estadística resultaba una de las asignaturas más difíciles de aprobar y peor valoradas por los alumnos al finalizar sus estudios; por otra, y pese al gran esfuerzo exigido en la materia, eran contadísimos los ingenieros así formados que utilizaban posteriormente la Estadística como herramienta de trabajo en su ejercicio profesional.

En realidad la situación descrita no era peculiar de la universidad española, pues cualificados especialistas se expresaban en el mismo sentido respecto a la docencia de la Estadística para ingenieros en universidades de otros países, como los Estados Unidos. Éstas son algunas de esas opiniones: *"Hemos realizado históricamente un trabajo muy pobre en la docencia de la Estadística"* (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"* (Godfrey, 1986), *"Aunque los departamentos de Estadística son ahora comunes en las universidades, continua existiendo una grave carencia de estadísticos competentes para trabajar sobre problemas reales"* (Box, 1976)

Las motivaciones para el cambio

Albert, como profesor preocupado por los frutos de su trabajo, era bien consciente de estos problemas, cuando a principios de la década de los 80, tres circunstancias le motivaron para llevar a cabo un cambio radical en el planteamiento docente de su asignatura.

En 1980 Albert pasa una estancia de 5 meses en el Departamento de Estadística de la Universidad de Winsconsin-Madison, liderado por el ilustre profesor G. Box. Allí se sorprende al constatar que lo que enseña a sus alumnos de Industriales en Barcelona es casi lo mismo que se estudia en aquella universidad en los cursos más difíciles del programa de Doctorado en Estadística. Por el contrario, la Estadística que se imparte a los ingenieros tiene un enfoque mucho más aplicado y carente de obsesiones por el rigor matemático.

También en aquellos años, sus contactos con los ingenieros de las empresas con las que Albert colabora de forma cada vez más intensa, le evidenciaron el escaso poso y la nula motivación positiva hacia la Estadística que la rigurosa enseñanza tradicional recibida en las Escuelas había dejado en ellos.

Finalmente, en una época en la que eclosionaban los nuevos planteamientos de Calidad Total, los llamamientos a la mejora continua para todos los responsables de cualquier proceso, no podían dejar indiferente a una persona como Albert, denodado defensor e impulsor de estas nuevas ideas en nuestro país.

La reforma

En un artículo publicado a finales de los 80 (Peña, Prat y Romero, 1990), Albert explica con detalle la motivación y la naturaleza de los profundos cambios introducidos en la docencia de la Estadística en la ETSIIB.

Detrás de los detalles de esta reforma se escondía un cambio radical en la concepción de la función de esta materia en el currículum de un ingeniero: el objetivo último no es realmente enseñar a futuros ingenieros la ciencia estadística, sino formarlos para que sean capaces de resolver problemas de ingeniería que exigen el recurso a técnicas estadísticas. La Estadística no se plantea como una rama de las Matemáticas que estudia los fenómenos aleatorios, sino como una ciencia cuya finalidad es la obtención eficiente de datos y el análisis de los mismos con el fin de obtener información útil para la toma de decisiones ante problemas reales.

Ello implicó, por una parte, una profunda modificación de los contenidos de la asignatura. El énfasis se desplaza de los fundamentos del Cálculo de Probabilidades y la Inferencia Estadística,

a las técnicas esenciales para los ingenieros: Análisis de la Varianza, Modelos de Regresión y Diseño de Experimentos. Aquellos fundamentos se mantienen al nivel mínimo indispensable para poder desarrollar estas técnicas. Nuevos contenidos, como las ideas generales sobre Calidad Total, las siete herramientas básicas de Ishikawa o el diseño robusto de productos y procesos, aparecen en el programa.

En el nuevo enfoque se procura mantener el aparato matemático al mínimo indispensable. Como Albert afirmaba: "*Nuestra experiencia (en empresas) nos ha convencido de que es posible transmitir los conceptos básicos con un lenguaje matemático relativamente simple* " (Peña et al. 1990)

Un aspecto esencial del nuevo planteamiento es la importancia que en él se da a que los alumnos trabajen con datos reales. En este sentido, la intensa colaboración con empresas de diferentes sectores permitió disponer de bases de datos reales que los alumnos podían utilizar para aplicar las técnicas estudiadas. Como un paso más allá, se promueve incluso que los alumnos se impliquen personalmente en la generación de esos datos llevando a cabo experimentos reales sencillos en relación a algún tema que ellos mismos planteen.

La implantación del nuevo sistema no se llevó a cabo sin esfuerzo. En el artículo mencionado Albert relata, por ejemplo, las dificultades que tuvo que superar en la implantación del nuevo enfoque, especialmente en cuestiones como la organización de las clases prácticas con los limitados recursos informáticos disponibles en aquellos años.

Fiel a los principios de la mejora continua de la Calidad Total, Albert nunca consideró la reforma llevada a cabo como una obra acabada y definitiva y en los años posteriores fue introduciendo progresivas mejoras, retroalimentándose de la experiencia adquirida y sacando el máximo partido a los nuevos recursos disponibles.

Las consecuencias de los cambios en el enfoque, contenidos y metodología de la asignatura fueron muy relevantes. La Estadística pasó, de ser una de las materias menos apreciadas por los alumnos, a obtener los índices más elevados de satisfacción en las encuestas anuales realizadas al alumnado. El nivel de asistencia a las clases, anteriormente muy reducido en las de carácter teórico, se incrementó de forma espectacular. Y otro dato muy revelador, desde los primeros años del cambio, muchos de los mejores alumnos de la promoción manifestaban, una vez aprobada la asignatura, su interés en incorporarse como becarios en el Departamento o realizar en él su proyecto fin de carrera.

Consideración final

Al comentar los factores que motivaron a Albert para emprender la profunda transformación que llevó a cabo en la docencia de su asignatura hemos señalado su estancia en Estados Unidos, su experiencia profesional en empresas y el impacto de los nuevos planteamientos de Calidad Total. Pero no hemos resaltado la que sin duda constituyó la motivación esencial: Albert Prat fue, ante todo, un profesor en el íntegro sentido de la palabra, una persona consciente de su responsabilidad ante la sociedad a la que servía y ante los alumnos a los que enseñaba.

En una universidad como la española, en la que la principal motivación de la actividad de tantos profesores es el medro personal, y en la que la obtención de méritos para la propia promoción prima tantas veces sobre la dedicación a la formación de los alumnos, la figura de Albert aparece como un ejemplo digno de resaltar.

Y es que, en el fondo, más allá de un gran estadístico, de un gran consultor y de un gran profesor, Albert Prat fue, sobre todo y como base para todo lo anterior, una gran persona y un hombre de bien.

Referencias

Box, G.E.P. (1976). "Science and Statistics" *Journal of the American Statuistical Association*, 71, 356

Godfrey, B. (1986). "Future Directions in Statistics" *Center for Quality and Productivity Improvement* (Univ. Wisconsin). Report 10

Joiner, B.L. (1986). "Transformation of the American Style of Teaching Statistics". "Future Directions in Statistics" *Center for Quality and Productivity Improvement* (Univ. Wisconsin). Report 10

Peña, D., Prat, A. y Romero, R. (1990) "La Enseñanza de la estadística en las Escuelas Técnicas" *Estadística Española*, 32 147-200

L'ALBERT PRAT I LA DOCÈNCIA
Per Moisès Valls

Jo us parlaré de l'Albert i la docència i ho faré des de l'experiència personal que he tingut amb ell des de fa 32 anys, primer com alumne i després com a company.

La primera vegada que vaig sentir parlar de l' Albert va ser quan em vaig plantejar fer COU, vaig consultar uns amics una mica més grans que em van recomanar la Granés, però em van advertir: sobretot assegura't que et toqui el Prat. Vaig tenir sort i em va tocar. El mateix va succeir quan anava a fer estadística a tercer. "*Radio macuto*" recomanava: sobretot que et toqui el Prat. Vaig tornar a tenir sort.
Després de professor les coses van canviar. Era l'època que els alumnes escollien i ningú de nosaltres volia de cap manera que li toqués el Prat a la mateixa hora. Era sinònim de quedar-se amb la classe buida. I és que l' Albert era molt bo!

Per no allargar-me explicaré només 4 coses de com portava la docència:
Fa més de 25 anys, no em pregunteu massa com, quan la RAM encara era per la majoria de nosaltres només una marca de llet, va muntar unes pràctiques d'estadística amb un ordinador de Madrid que s'accedia des del rectorat. Els alumnes al·lucinaven i jo.....també. Això va representar un salt qualitatiu impressionant tant en el contingut com en la forma d'impartir l'assignatura, ja que a més la va canviar de dalt a baix , enfocant-la des d'un punt de vista molt més pràctic i proper a la realitat industrial.
Al cap de poc, va introduir les classes amb transparències a disposició dels alumnes, cosa també absolutament innovadora en aquella època.

L'any 96 aprofitant el nou pla d'estudis es va reinventar novament l'assignatura , ens va posar a tots a treballar i va engegar un procés continu de canvis, en que cada any en funció de resultats, opinions i enquestes s'anaven millorant els procediments i els continguts. No em faré pesat en detalls però us puc assegurar que tots vam quedar molt satisfets dels resultats i l'empenta dels canvis encara dura.

L'Albert s'imaginava que donar una classe era com fer una obra de teatre, per la qual cosa dominava perfectament el guió, interpretava de faula i tenia la virtut de la claredat. Els conceptes complicats els feia fàcils i en els senzills no t'avorries perquè et mantenia atent amb l'excusa de qualsevol anècdota, per tal d'esbrinar com acabava el guió.
Tots els seus companys hem estat aprenents de l' Albert i sense adonar-nos utilitzem el seu llenguatge, les seves expressions i els seus trucs tant per explicar com per motivar als alumnes. De fet el millor elogi que ens agrada sentir és: expliqueu bé, es nota que sou de l' Escola de l' Albert.

Per acabar, m'agradaria explicar 3 anècdotes personals que he viscut amb ell:

La primera sorprèn perquè després de molts anys d'experiència, 5 minuts abans de la primera classe del curs el trobaves al passadís, i l' Albert estava inquiet fins i tot nerviós i és que la docència era realment molt important per a ell.

La segona és només per estadístics: Una vegada li va tocar donar-nos un seminari de sèries temporals multivariants a alumnes que no coneixíem ni les univariants. I se'n va sortir! Tota la vida m'he preguntat com s'ho va fer.

L' última es repetia sistemàticament cada any i serveix per demostrar el gran cor que tenia l' Albert abans que un mal dia se li aturés. Fa temps hi havia una convocatòria especial per alumnes que només els hi quedava 1 o 2 assignatures per acabar la carrera. Com que l'estadística estava a tercer, cada any hi havia només un parell d'estudiants que se'ls hi havia travessat l'assignatura i es presentaven espantats al Departament a un examen especial per acabar d'una vegada i ser per fi Enginyers. L' Albert els tenia preparat un examen extremadament fàcil. Quan acabaven, el resultat era invariablement desastrós. Llavors l' Albert sortia del despatx, començava a donar voltes emprenyat a la taula del Departament i finalment sentenciava: Que els jutgi la societat!!! i els aprovava.

Bé la societat ja els deu haver jutjat ,segurament amb resultats diversos, però nosaltres a l' Albert honesta i sincerament ja fa temps que vam decidir atorgar-li un excel·lent cum laude per unanimitat, però dels de veritat.

Albert Prat i l'estadística

A tribute to Albert Prat by George Box

Albert had a unique combination of admirable qualities. I have so many happy memories of him, it's difficult to know where to start.

He was a visionary. He saw the importance of Statistics for engineering and science, and in particular, the Design of Experiments and the use of Time Series. Three decades ago he was teaching these things to hundreds of students. Even now, many teachers of engineers and scientists in this country have not even begun.

He was quick to see what were the important issues in any problem and he knew what to do about them. As you know, his solutions could be very ingenious.

He was a superb organizer. I am still amazed by the wonderful conference that he put on in Barcelona — dinner at the Palace with strolling musicians and singers — one of the most delightful evenings I can remember.

His generosity knew no bounds. We can never forget the kindness he showed to Claire and myself. He loved to make people happy and he knew how to do this. At his wedding I remember a stack of champagne bottles that stood four feet high and five feet across. The bottles had no labels. I asked him where these came from, and he smiled and said, " I know a man."

He was a master chef, and was especially pleased when his friends savored his delicious cooking.

Albert had a great sense of fun, and I can see now his wonderful smile. He touched so many of our lives and we will forever remember that touch.

A Tribute to Albert by George Tiao

I am profoundly sorry that, due to a commitment made a long time ago to teach in Beijing, I shall not be able to attend the memorial session on April 21 for Professor Albert Prat.

Albert was a dear friend. The way I remember him is best shown by the two pictures taken in a restaurant at a mountain-top, *Peña Peak*, near Salamanca in 2003. Just like in the pictures, Albert was a happy human being, caring and warm, and a loving husband.

We first met in Madrid in the summer of 1980 when Professor George Box and I went to Madrid for the first time to give some continuing education lectures on time series organized by Albert and Professor Daniel Peña We hit it off fabulously right away and I went to Barcelona to see him numerous times in the 1980s to work on various applied statistics topics including forecasting methods, total quality management and statistical software development. He also visited Chicago on a number of occasions.

In the 1990s the Chicago Business School established a campus for EMBA program in Barcelona and I immediately volunteered to participate to see more of the beautiful city and the Prat family.

Over these twenty some years of frequent visits, our friendship, and my admiration of him, grew deeper and deeper. On the serious side, Albert was one of the most prominent applied statisticians in the European community. He had taken the leadership role in the development of statistics software on quality control, seasonal adjustment, time series among other topics. The entire statistical profession owed him a big debt for his foresights, dedication and persistent, never ending effort. He was highly respected, and well like by all.

All of us who are lucky enough to be friends of Albert know a lighter side: His Gourmet fame. There is no question he was a connoisseur of fine food and wine. He took me through so many great places for dinners that at one point I thought I must have visited at least half of the best restaurants in Barcelona (not at all true) But the most unusual part is that he was simply the best cook I knew! I still fondly remember the great meals he and Tina served at their house, on the patio garden you got there in a lift(!), in a hot summer afternoon. The whole process was like a dream. Then there was the occasion in Chicago when he came to my house to demonstrate how to do Paella in the right way. We had to go to a fish market early in the morning to get a huge

variety of seafood. He came at noon to do the preliminaries a couple of hours, and back again at 4:30 to prepare the dinner. As a Chinese rice eater, I had to admit that his Paella was the best rice dish I ever had, and never forgot.

Albert, we miss you.

To close, Barbara and I want to convey our best regards to Tina.

ALBERT PRAT in Memoriam

Albert Prat and Computational Statistics

Working with Albert

Dr Brian Ford, OBE
Founder Director,NAG Ltd

1. Introduction

It is a great honour for me to be invited to speak at this meeting celebrating the life and contribution of Albert. Like all of you I was deeply sadden to hear of his death on the 1st January this year. For me his passing took a vital spark out of life. Albert was larger than life. He made a vital contribution to every group and activity to which he belonged. He was a profound European. An extremely able individual, he always worked collaboratively through groups, teams, projects – in community. My experience of working with Albert was in European projects and international meetings. These we shall explore now.

2. FOCUS

Project FOCUS, ESPRIT 2 # 2620 1988-1992
Front-Ends for Open and Closed User Systems
Partners: NAG, LUTCHI, Imperial College, PHILIPS, SOLVAY, METEK, Westfalische Wilhelms Universitat, UPC

Two important goals:

1. Facilitate the use of the huge amount of scientific knowledge contained in the NAG Library (Open System Software)
2. Facilitate the use of the scientific knowledge contained in existing packages such as GENSTAT, SCS and others (Closed System Software) to all kinds of end users (expert and novice)

FOCUS represented pioneering work on:

- User friendliness
- Separability (front end/back end)
- Reusability of high quality back ends
- Integration of the knowledge of qualified experts

NAG's earliest experience of working with Albert and the Statistics and OR Group of UPC in Barcelona was the FOCUS Project in Esprit 2. This early collaboration together provides a fine example of working with Albert.

He was invariably involved in every facet of the activity:
(a) STARTING
- Forming the consortium
- Formulating the proposal
- Securing the funding with the Commission of the EU

FOCUS was a four year activity, from 1988 to 1992 involving seven primary partners (UPC and NAG among them) with a total budget of some 8 million ECUs of which the EU provided some 4 million ECUs.

(b) CONTINUING

- Constructive Partner throughout the Project
  - argued UPC case and protected their interests
  - committed to success of activity AS A WHOLE
  - great support to Project Co-ordinator

Albert always sought to reconcile the interests of individual partners. He provided a "beacon" model of collaboration that others felt encouraged to follow, and did! One of Albert's greatest gifts was his vision of the European dimension : seeking to maximise the benefits of collaboration for individual institutions and for the achievement of European Union objectives, amongst participating organisations from different members states. Albert had a mastery of the dynamics of international collaboration, which he used to profound, constructive effect.

Albert brought valuable insights to the FOCUS project because his working life, whilst rooted in academia, involved substantial continuing experience in industry and commerce. This "real world" experience helped on numerous occasions and led to fruitful lines of inquiry, which might never have occurred to other project partners. Several FOCUS "knowledge-based front ends" which UPC developed

- REGS = a statistical system for estimating the value of real estate
- DOX = an expert system to aid engineers with the design of experiments

reflected the desire of Albert and the UPC Group to bring high quality analytical techniques to a wider audience, beyond academia.

Albert was both knowledgeable and well informed. He monitored research and development in Statistics and in Information Technology (particularly computing) with great care. He also had a constant desire to carry these insights into real-world applications. An outstanding example of his prescience occurred in the FOCUS project. Albert and his UPC team recognised the importance of the then fledgling PC sector. At the time (1988-1992) the PCs were immature, over-priced and under-powered. But Albert knew that more powerful chips were coming (Moore's Law) and sensed that PCs would revolutionise computing.

In some academic circles PCs were regarded with disdain. This insistence by UPC on their future importance and hence essential inclusion in the project did not meet universal approval in project formulation. But Albert's power of persuasion and diplomacy triumphed and references to PCs were included (four references in a 297 page document!). Even then one reviewer criticised the proposal for their inclusion, "not significant for the kind of front-end systems under consideration". Under Albert's leadership, UPC continued to carry the banner for making FOCUS work relevant to PCs, and with profound success. The PC computing revolution came, and PCs became pervasive in all sectors of computing, including those of interest to FOCUS partners. The genius of the FOCUS project was to separate an easy-to-use, application-intelligent front-end from a back-end system for doing non-trivial numerical or statistical analysis. The PC became an ideal vehicle for such front-end systems.

(c) COMPLETING

- completing the work
- preparation for Final Review
- publication and exploitation of results
- follow-on projects

Albert was not only a great starter and constant continuer, he was a great completer too. He recognised the vital importance of completing projects until they are truly finished. This

involved getting each and every Work Package completed, documented and delivered to the Project Co-ordinator. Albert invariably met the agreed timescales himself (and/or his Group) and then helped, encouraged, cajoled (either as Co-ordinator or Project partner) other partners to do the same.

He was invariably a lively presence and active contributor at the Final Project Review when, in this case, the FOCUS Project was signed off, as complete and successful by the EU Reviewers. And Albert was always generous. In his own particular way Albert was a modest man. He always gave credit to other people, gently minimising his own, and his own Group's contribution.

A vital part of each Esprit project was the publication and exploitation of its results. Albert was good at both aspects of this, particularly for FOCUS. The UPC Group wrote papers about the results of a very fertile project and presented papers at meetings such as COMPSTAT, reaching a wide European audience. Some of the technical products from FOCUS – REGS and DOX – UPC exploited themselves and other IP influenced Genstat and delivery of forms of the NAG Library. And Albert always spoke with such flair and had an excellent eye for marketing, and sensing a product's market. Essential for all of us was to look to the future and to recognise ideas and material for the next project, and colleagues and groups to work with. The ideas of FOCUS carried forward into the Stable Project and influenced the Force4/R architecture (both individual Esprit 4 projects). In those halcyon days in Europe Albert and I, and our co-collaborator were always looking for the follow-on projects: to fund our research and to provide essential intellectual property for Community wealth creation.

3. STABLE

Project ESPRIT 4 # 22.832 1997-1998
STABLE, Statistical Applications Building Environment
Partners: NAG, RES, UPC, LIMAGRAIN, GESA, CEBAL ENTEC

Goal:
Use the visual programming capabilities of IRIS-Explorer and the algorithms of GENSTAT to build a cooperative tool for statistical programmers

This was probably the best Esprit Project in terms of partners, of research content and of results that I ever worked on. Albert valued it equally highly too. We all had such a great time working together, and achieved so much too. And all in just two years!

STABLE designed, built and demonstrated a modern Statistical Application Building Environment. The systems still looks "modern" now, eight years later. We integrated an existing application building system, IRIS Explorer with the algorithmic contents of an existing, widely used statistical system, Genstat and other available algorithms to give the new STABLE system. We then evaluated STABLE by constructing three different end-user systems, and modifying it in the light of feed-back from the application builders.

Specific characteristics were sought for the STABLE system:

- Use of the visual programming paradigm to provide enhanced ease-of-use and flexibility
- Facilities for new approaches to visualising statistical data
- Facilities for the development of end-user applications in "canned" forms
- Ability to incorporate alternative or customised user interfaces and to take account of native language and range of experience
- Full complement of reliable and powerful statistical techniques with access to numerical and other relevant capabilities

- Gateways to existing external systems
- Open extensible architecture for incorporating user-developed code
- Environment suitable for the research, implementation and promulgation of new algorithms
- Components easily distributable over multiple processors in heterogeneous environment

We were in our element. NAG had expertise in IRIS Explorer and the NAG Library : RES was the home of modern statistics (started by R.S.Fisher), incorporated into Genstat by Nelder and Payne : and UPC had excellent statistical knowledge, profound programming experience, application building know-how and direct contact with industrial users with application system needs (GESA and CEBAL ENTEC). Limagrain is a major European seed company (in France) requiring a system for the design and analysis of field trials.

Everything ran to time. All objectives were achieved. The project meetings had some of the best meals and social outcomes one could wish for (even satisfying the French!). And who could forget the parador we stayed at in the old town of Palma, Mallorca?

4. FORETess

This was a classis follow-on project. Its aim was the commercialisation of the results of the TESS project, which produced a system for automatic seasonal adjustment and forecasting of time series. Undertaken with VSN-International, under Albert's management it followed the well-prepared, well run course.

Albert particularly showed his mettle at a famous presentation of the project at the Annual Eurostat review meeting in Luxembourg.

5. @DAN

This was an IST-funded project concerned with the development of an advanced and highly secure mobile platform to support the digital economy. Amongst the partners were UPC and VSN-International. How typical of Albert that he should position his group to lead in the evolution of a fundamental new technology, and recognise that ideas and technology going back to FOCUS had a clear part to play in the new environment.

The project goals were:
- Development of a highly secure mobile platform to support the digital economy
- Production of two prototypes, developed using the platform:
  - An application for the establishment of signature of administrative, economics affairs and managerial authorities at UPF
  - An application for the provision of forecast demand using UPC methodology (CONFORT).
- The assessment of the two prototypes and the platform produced

UPC's primary roles were:
Material and handset selection
Platform integration and testing
Development of prototype
Testing and assessment

The UPC Group took over this last role from VSN-International to enable completion of the Project.

The @DAN project was forged from merging concepts in security, mobility and payment. The platform addressed two business scenarios, mobile payment and mobile signature. It was based on web services, an open standards-based technology for connecting disparate business applications. The "light client, heavy server" assumption balanced the processing weight through the platform. Security was based on a smart card. Payment via the Internet leveraged the virtual point of sales.

The objective of the UPC prototype was to build an application aimed at providing an affordable and flexible working access for organisations to the data included in their business processes. This required fast, reliable and secure data management compiled with secure access.

@DAN was, and remains, an innovative technology which has yet to be matched.

6. UPC as Project Co-ordinator or Partner

With Albert as the Group Leader, the UPC Team whether as Project Co-ordinator or Partner brought certain characteristics to any project in which they were involved.

- Excellent Scientific Content
- Outstanding Project Management
- Near to market – Well Defined Goals
- Accountability to Reviewers

Along with Albert, there was always the quiet management of Josef Maria Catot and the efficient organisation of Pia Margarita, bolstered by their tireless commitment to the activities in hand. The teamwork of the Group and their sensitive management of human relations was and is legendary.

7. Concluding Remarks

This meeting is not only to remember the research and managerial career of an outstanding academic but to celebrate the life of a very fine man.

With Albert whilst working on the European Union Esprit projects and presenting the results of our work to international meetings, we enjoyed life together too! We celebrated friendship and our European heritage together as we dined, enjoying excellent cooking and fine wines. We discussed life and politics, and suffered together over Barcelona FC and Nottingham Forest FC. There is so much more that one could say. Let us remember our friend and colleague Albert Prat who enriched all our lives and made us better people for knowing him.

Contribuciones de Albert Prat a la Estadística Industrial y la Calidad

Daniel Peña
Universidad Carlos III de Madrid

April 18, 2006

1 Introducción

Albert Prat ha sido un excelente estadístico aplicado, un gran docente, un brillante organizador y gestor y, sobre todo, una persona entrañable, con gran sentido del humor, y llena de humanidad. En este trabajo voy a comentar brevemente sus contribuciones científicas al campo de la Calidad y la Estadística industrial y compartir algunos recuerdos de una amistad que comenzó hace más de 25 años.

Las contribuciones científicas de Albert cubren un campo muy amplio. Comenzando con su tesis doctoral, en 1975, se extienden durante un periodo de treinta y un años. Albert Prat hizo contribuciones importantes a la Estadística industrial y la Calidad, las series temporales, los sistemas expertos y la enseñanza de la Estadística. En este trabajo resumiremos únicamente sus aportaciones al primer campo que, aunque muy destacadas, son sólo una pequeña parte de sus aportaciones a la Estadística.

Sus contribuciones a la Calidad y a la Estadística Industrial pueden dividirse en dos partes. La primera incluye sus aportaciones a la enseñanza de la estadística industrial y la calidad, y comprende un libro muy utilizado en las escuelas de ingenieros, Prat et al (1997), y las monografías sobre calidad de Peña y Prat (1986) y Prat y Grima (1998). La segunda cubre sus contribuciones a la metodología y la práctica de la mejora de la calidad, que se ha plasmado en artículos en revistas internacionales, como los trabajos de Prat y Tort-Martorell (1990) y Prat y Grima (1998), en revistas nacionales (Prat y Grima, 1995a,1995b; Prat y Guinovart, 1998; Prat y Tort-Martorell, 1986, 1987) y en una brillante labor de consultoría y proyectos sobre la mejora de la calidad de procesos y servicios.

Sus contribuciones al enriquecimiento de sus amigos han sido tanto o más importantes que las científicas y en la segunda parte de este trabajo recordaremos algunas de ellas.

2 Contribuciones a la Estadística Industrial y la calidad

2.1 Para la docencia

El primer grupo de contribuciones de Albert Prat está dirigido la docencia de la Estadística industrial. Su contribución principal es el libro de Métodos Estadísticos (Prat et al, 1997) realizado en colaboración con Xavier Tort-Martorell, Pere Grina y Lourdes Pozueta. El comienzo de este libro dice mucho sobre el enfoque docente de Albert. El primer capítulo se inicia justificando la importancia de la calidad de los productos y servicios como elemento clave para el éxito empresarial, continúa presentando los conceptos básicos de calidad y finaliza con una panorámica de la utilización de la Estadística para resolver estos problemas. En todas las clases y conferencias que le he escuchado durante todos estos años esta era la forma en que Albert transmitía su conocimiento y enganchaba a la audiencia: comenzar planteando un problema real importante ; a continuación indicar sus características principales y sintetizar los elementos clave; finalmente, introducir las herramientas para resolverlo. Albert Prat tenía una facilidad poco común para identificar los aspectos clave de un problema y una cabeza muy bien organizada y analítica para abordarlos después, uno a uno, de forma sistemática y precisa. Su personalidad como docente impregna este libro que contiene un enfoque muy novedoso respecto a los textos habituales de introducción a la Estadística para ingenieros.

En la primera parte de este libro y sólo en tres capítulos se presentan las siete herramientas básicas de Ishikawa, se introduce el concepto de variabilidad y, aprovechando esta idea, se exponen los conceptos principales de distribuciones de probabilidad y se revisan las más usuales. En estos tres capítulos se consigue presentar los contenidos fundamentales de cálculo de probabilidades y las bases de la inferencia que han ocupado tradicionalmente la mayor parte del tiempo disponible en un curso cuatrimestral de Estadística para ingenieros. Esta concentración en las ideas clave permite liberar tiempo para presentar en la segunda parte una visión muy clara y actualizada de la que es probablemente el área más importante de aplicación de la Estadística en ingeniería: el diseño de experimentos. Los capítulos de esta segunda parte constituyen por sí solos un curso muy completo de cómo la experimentación basada en métodos estadísticos puede contribuir a la mejora de la calidad y la productividad en la industria.

En mi opinión este libro constituye una contribución fundamental a la literatura de métodos estadísticos para la Ingeniería en español. Se trata de un libro excelente, muy original, que destila experiencia práctica, con muchos y cuidados ejemplos y que es un placer leer. No me cabe duda que este libro tendrá durante mucho tiempo una gran influencia sobre la forma de enseñar a los ingenieros la Estadística, tanto en España como en Latinoamérica.

Además de este importante trabajo, Albert ha sido pionero en la elaboración de material docente para la enseñanza de la estadística industrial. Hace veinte años publicamos una monografía dirigida a técnicos de la pequeña y mediana

empresa (Peña y Prat, 1986) donde se presentaban las ideas modernas de la Calidad total y se proporcionaban técnicas precisas para el control de procesos y el control de recepción. Disfrutamos mucho escribiendo este libro y discutiendo y asimilando los nuevos enfoques, como el de Taguchi, sobre el papel de la Estadística en la mejora de la calidad de procesos y productos. Tuve también el placer de trabajar con Albert en la traducción al español del excelente libro de Box, Hunter y Hunter (1988). Albert fué el impulsor de este proyecto para el que contamos con la entusiasta colaboración de nuestros compañeros Luis Arimany, de la UPM y Javier Tort-Martorell de la UPC, que realizaron una impecable traducción del texto inglés. Este proyecto fue un éxito, dado que el libro en español ha sido muy leido y utilizado por investigadores no solo en ingeniería, sino también en ciencias naturales y de la vida, tanto en España como en Latinoamérica. Finalmente, el empeño de Albert en proporcionar a los ingenieros material docente de calidad sobre la estadística aplicada se completa con la monografía realizada en 1998, (Prat y Grima, 1998), que ilustra de forma muy clara y didáctica el uso de la Estadística para la calidad total en empresas de servicios.

2.2 Metodología y aplicaciones

La enorme intuición estadística de Albert es patente en sus publicaciones sobre estadística industrial y calidad. En el trabajo que dió lugar a la tesis doctoral de Xavier Tort, (Prat y Tort, 1986) se abordó un importante problema: la elección de fracciones factoriales con óptima proyección. Los autores propusieron un interesante algoritmo para seleccionar la fracción factorial más informativa. Posteriormente, Albert y Xavier en su trabajo en Quality Engineering, (Prat y Tort, 1990) mostraron cómo la utilización inteligente de los diseños factoriales puede poner de manifiesto los factores clave para mejorar un proceso de fabricación de pienso para animales domésticos. Este trabajo ilustra de manera brillante una característica del trabajo estadístico de Albert: resolver los problemas combinando el dominio de los métodos estadísticos más actuales con el conocimiento profundo del problema concreto que se desea resolver. En este trabajo se pone también de manifiesto otro aspecto que también es muy relevante en el trabajo de Albert: la atención al posible efecto pernicioso de los datos heterogéneos o atípicos y cómo su identificación y tratamiento puede ser clave para conseguir mejoras importantes en un proceso de fabricación.

En su trabajo con Grima (Prat y Grima, 1998) presenta una nueva metodología para diseñar productos y procesos robustos a variaciones de las variables de entorno. Un problema importante en el diseño de procesos es cómo fijar las variables de control para combinar de forma óptima los efectos sobre la media, medidos por su distancia al valor objetivo, con los efectos sobre la variabilidad, medidos por la varianza de la respuesta. Los autores presentan un ingenioso gráfico distancia/varianza que permite seleccionar de forma precisa la combinación más conveniente para unos objetivos dados. Este artículo ilustra cómo herramientas visuales simples pueden ser en la práctica mucho más útiles para resolver problemas complejos que enfoques aparentemente muy sofisticados, pero

que ofrecen una solución "óptima" para un problema idealizado que se ha simplificado tanto que tiene poco que ver con el inicial que pretendemos resolver. Albert es un buen seguidor de la filosofía de Tukey (1962), a quien debemos el importante consejo: "mejor una solución aproximada al problema real, que una solución exacta a un problema imaginario" (Better you should have an approximate answer to the right problem than an exact answer to the wrong problem) y de la de George Box, a quien Albert admiraba mucho: "Todos los modelos son falsos pero algunos son útiles" ("All models are wrong but some are useful").

La capacidad de resolver problemas complejos mediante una utilización inteligente de las herramientas estadísticas e informáticas disponibles aparece de manera abrumadora en los numerosos trabajos de investigación aplicada realizados por Albert y su equipo en el grupo de Estadística de la ETSII de la UPC. Albert dirigió desde 1983 hasta la actualidad 25 proyectos de investigación, lo que supone un volumen de actividad impresionante si tenemos en cuenta que la mayoría de estos proyectos fueron trabajos importantes, con la colaboración de varios investigadores y con duración de varios años. Estos trabajos cubren todas las áreas de actividad de Albert, pero sólo comentaremos aquí los más relacionados con la mejora de la calidad y la Estadistica Industrial: el proyecto ESPRIT SYMPIC: Preventive and corrective maintenance control and planning system aided by a parallel planning tool; los dos proyectos de la CEE, IRIUS: Parallel Computing Focus to Strenghthen Production Programming & Planning in Food Industries" y SEMCAL: Sistema Experto para la Conducción de Grupos en la Mejora de la Calidad; y el proyecto financiado por el Consejo Superior de Deportes : Análisis Estadístico de los Parámetros Biomecánicos Específicos de Salto de Altura y Salto con Pértiga durante los Juegos Olímpicos de 1992.

3 Algunos recuerdos personales

Conocí a Albert en el año 1979, en un curso sobre series temporales impartido por G. Jenkins al que ambos asistimos en Inglaterra. Unos pocos años antes Box y Jenkins habían publicado su famoso libro de series temporales y el curso organizado por G. Jenkins cerca de Lancaster atrajo a un buen grupo de españoles. Albert y yo simpatizamos enseguida, y descubrimos que teníamos mucho en común: nos interesaba la política, especialmente la de izquierdas, nos gustaba mucho la música, bailar y viajar, apreciabamos la amistad y el buen vino y, también, enseñábamos estadística para ingenieros y aprendíamos cómo modelar series temporales. Desde entonces hemos compartido y disfrutado de estos placeres comunes y, durante una gran parte de nuestra vida, hemos recorrido caminos paralelos. Nuestra relación de amistad se consolidó y reforzó cuando se conocieron Tina, la mujer de Albert, y Mely, mi mujer, que tienen también mucho en común y se convirtieron en excelentes amigas.

En el periodo 1980-90 nuestra relación fue muy intensa y pasamos por experiencias similares impulsando muchos proyectos comunes. En el año 1979 Box y Tiao vinieron a Madrid a impartir un curso de series temporales y, al año siguiente, Albert organizó un curso similar en Barcelona. Desde entonces

las visitas de Box y Tiao alternaron entre Barcelona y Madrid, propiciando, en buenos restaurantes, que Albert casi siempre elegía, largas conversaciones sobre la vida, la enseñanza, la universidad, la Estadística y el futuro. La conexión con Wisconsin y después con Chicago, al trasladarse Tiao a esa ciudad, se fortaleció con nuestras sucesivas estancias en las universidades de Wisconsin en Madison y en la Universidad de Chicago. Albert y yo compartimos también nuestras oposiciones a los cuerpos docentes universitarios. Todavía recuerdo vivamente los ensayos de las presentaciones de Albert en mi piso de Madrid en las oposiciones a una Agregaduría de Estadística en la Universidad de Sevilla, que obtuvo en 1982. En el curso 81/82 las divertidas anécdotas que contaba Albert en sus paradas en Madrid de sus viajes Sevilla- Barcelona, me ayudaron a entender las distintas visiones de la vida entre catalanes y andaluces. Durante este curso yo obtuve también la Cátedra de Estadística en la ETSII de Gijón y en el curso siguiente, 82/83, ambos conseguimos trasladarnos a donde queríamos: Albert a la ETSII de la UPC, lo que fue posible por la ayuda de Manuel Martí que dejo esta cátedra vacante al trasladarse a la recién creada Facultad de Informática, y yo a la ETSII de la UPM, vacante por la jubilación de Miguel Jerez. En los años siguientes compartimos los esfuerzos para potenciar el papel de la Estadística en Ingeniería, con la eficaz ayuda de Rafael Romero de la UPV, escribimos libros y artículos conjuntos, organizamos cursos y seminarios con varios colegas extranjeros en Barcelona y Madrid y viajamos juntos a congresos, donde con frecuencia éramos los únicos españoles. Recuerdo con cariño especial el viaje que hicimos en 1985 al congreso del ISI en Amsterdam, acompañados de nuestras familias, y el estupendo viaje posterior cruzando Europa en automóvil y tienda de campaña hasta Estocolmo. Viajar con Albert era un placer, porque además de ser políglota, lo que siempre admire mucho, con un perfecto conocimiento de cinco idiomas: castellano, catalán, inglés, alemán y francés, estaba permanentemente bien informado de cómo encontrar un buen restaurante en cualquier rincón del mundo. Durante este periodo compartimos también, y celebramos juntos, los cambios políticos y sociales que ocurrieron en España en esta década.

Al trasladarme en 1990 a la recién creada universidad Carlos III, dejar la Escuela de Industriales e involucrarme en los años siguientes en las aplicaciones económicas nuestros caminos se separaron un poco, pero seguimos siempre manteniendo una estrecha relación personal, ampliada ahora al triángulo Barcelona-Denia-Madrid, con el enriquecimiento de nuestra amistad común con Antoni Espasa y su mujer Toñi Rodriguez-Gago. Albert y Tina han sido unos anfitriones excepcionales y mi mujer y yo disfrutamos mucho de los viajes para verles en Barcelona, en Sitjes o en la Costa Brava. Además, compartimos con Albert y Tina todos los excelentes momentos ligados a los actos de investidura como Doctores Honoris Causa de la Universidad Carlos III de Madrid de George Box, en 1995, (véase Figura 1) y George Tiao, en 2003 (véase figura 2). En el verano del 2004 fuimos juntos al COMPSTAT de Praga y disfrutamos después del congreso de un delicioso viaje por las preciosas villas de Bohemia, y en Septiembre pasamos en su casa unos dias inolvidables visitando el Forum. Recuerdo con especial cariño cuando nos vimos en San Sebástian el pasado Septiembre en la boda de mi hijo Jorge, y sus viajes en octubre y noviembre a Madrid. La última

vez que nos vimos fue el 20 de Noviembre, un precioso domingo de otoño, donde compartimos mesa con los Espasa en un agradable restaurante en Matalpino y dimos después un delicioso paseo por el campo disfrutando del atardecer. Hicimos planes para pasar un fin de semana en el Balneario de Matalpino, que habíamos visitado por la tarde, y Albert nos propuso acompañarles en el puente de Diciembre a Sicilia, viaje que finalmente nosotros no pudimos hacer. Todavía tengo grabada su imagen al despedirles en el aeropuerto de Madrid.

Albert era una persona excepcional: un buen amigo de sus amigos, un disfrutón de la vida, capaz de bebérsela a chorros y de apurarla al máximo, un excelente cocinero, un hombre honesto y generoso, una persona con un fino sentido del humor y una inteligencia aguda, y un admirable organizador. Nunca olvidaré su sonrisa cómplice hace varios años, en el Celeste en Barcelona, al escuchar los primeros compases de *Lets Twist Again* por Chubby Checker : "Cuando oigo esta música siento como un resorte", me dijo mientras se levantaba de la silla para lanzarse a la pista de baile. Recuerdo también, con mucha añoranza, paseos nocturnos por ciudades diversas arreglando el mundo, su sentido del humor en las interminables sobremesas después de una excelente comida y los deliciosos desayunos en su casa en Barcelona. Su amistad y su vida han contribuido a hacer más rica y más feliz la mía, y su muerte deja un hueco que nunca podré llenar.

References

[1] BOX, G.E.P., HUNTER, W.G. y HUNTER, J.S. (1988) *Estadística para Investigadores.* Reverté.

[2] PEÑA, D. y PRAT, A. (1986) *Cómo controlar la calidad.* Manual 16 del IMPI. MINER. Madrid.

[3] PRAT, A. y GRIMA, P (1995a). Determinación de los valores de los factores de diseño para la obtención de productos robustos. Aplicación al caso de un circuito con bobina y resistencia. *QUESTIIÓ,* 19.

[4] PRAT, A. y GRIMA, P.(1995b) Planificación y análisis de diseños factoriales mediante hoja de cálculo para ordenador personal. *Estadística Española,* 37, 138-

[5] PRAT, A, y GRIMA, P. (1998) A Bivariate Plot Useful in Selecting a Robust Design. In *Quality Improvement through Statistical Methods,* 249-262, Birkhauser, Boston.

[6] PRAT, A, y GRIMA, P. (1998) *Técnicas estadísticas en los procesos de gestión de la calidad total en las empresas y organizaciones de servicios.* Instituto Vasco de Estadística.

[7] PRAT, A.; GUINOVART, R. (1988) Diseño de Experimentos. Método de Taguchi. *DYNA*, 3.

Figure 1: Investidura de George Box como Doctor Honoris Causa por la Universidad Carlos III de Madrid, 27 enero de 1995. De izquierda a derecha: Tina Roig, Albert Prat, Claire Box, George Box, Mercedes Conde, Daniel Peña y Antoni Espasa.

[8] PRAT, A. y TORT-MARTORELL, J (1986) Algoritmo para la elección de fracciones factoriales con óptima proyección. *QUESTIIÓ* 1,2, 69-82.

[9] PRAT, A. y TORT-MARTORELL, J. (1987) Círculos de Calidad. Algunas Consideraciones. *Novamatica*, 134.

[10] PRAT, A. y TORT-MARTORELL, J. (1990) Case Study: Experimental Design in a Pet Food Manufacturing Company. *Quality Engineering* 59-73.

[11] PRAT, A., TORT-MARTORELL, J., GRIMA, P., y POZUETA, L. (1997) *Métodos Estadísticos. Control y Mejora de la Calidad.* Ediciones UPC. Reimpresión en 2000, 2006.

[12] TUKEY, J. (1962) The future of Data Analyses, *The Annals of the Institue of Mathematical Statistics*, 33,1-67.

Figure 2: Investidura de George Tiao como Doctor Honoris Causa por la Universidad Carlos III de Madrid, 21 de febrero del 2003. De izquierda a derecha: Albert Prat, Daniel Peña, Barbara Tiao, George Tiao, Tina Roig y Antoni Espasa.

Alguns dels articles publicats per Albert Prat

ESTADISTICA ESPAÑOLA
Vol. 32, Núm. 123, 1990, págs. 147 a 200

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 curriculum 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 curriculum 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 incluídas 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. ESTADISTICA 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 cualificadas 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 curriculum 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 (Acreditate 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, entendiendo por ello que más de dos terceras partes 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, entendiendo 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) DESCRIPTIVA	(2) PROBABILIDAD	(3) INFERENCIA	(4) TOTAL BASICO %	(5) CONTROL CALIDAD	(6) DISEÑO EXPER	(7) REGRESION	(8) OTROS	(9) TOTAL APLICADO %	(10) HORAS TOTALES
AERONAUTICOS										
Madrid	5	56	8	70	10	5	5	10	30	63
AGRONOMOS										
Valencia	13	27	20	60	--	27	13	--	40	75
Santiago	10	40	30	80	--	10	10	--	20	100
ARQUITECTURA										
Valencia	13	40	20	73	7	--	13	7	27	30
CAMINOS										
Barcelona	4	37	28	69	--	5	9	17	31	104
Madrid	11	33	34	78	--	--	22	--	22	90
Cantabria	8	38	20	66	2	16	16	--	34	126
INDUSTRIALES										
Sevilla	7	18	28	53	11	9	9	18	47	112
Cantabria	15	38	32	85	--	--	15	--	15	65
Zaragoza	8	29	33	70	8	8	10	4	30	120
Madrid	8	15	23	46	8	23	23	--	54	130
Barcelona	14	10	10	34	12	30	20	4	66	130
MINAS										
Madrid	6	29	29	64	6	6	24	--	36	85
Oviedo	19	30	38	95	--	--	--	5	5	52
MONTES										
Madrid	2	33	49	84	--	5	6	5	16	109
NAVALES										
Madrid	4	19	31	54	--	--	31	15	46	26
TELECOMUNICACIONES										
Cantabria	22	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) DESCRIPTIVA	(2) PROBABILIDAD	(3) INFERENCIA	(4) TOTAL BASICO %	(5) CONTROL CALIDAD	(6) DISEÑO EXPER.	(7) REGRESION	(8) OTROS	(9) TOTAL APLICADO %	(10) HORAS TOTALES
AGRONOMOS										
Sevilla	20	30	20	70	--	18	12	--	30	50
Santiago	22	39	22	83	--	--	17	--	17	36
Palencia	12	37	37	86	--	--	--	14	14	40
Valladolid	10	10	20	40	--	20	40	--	60	50
León	50	50	--	100	--	--	--	--	--	60
INDUSTRIALES										
Badajoz	30	25	15	70	--	--	30	--	30	33
Tarrasa	30	30	20	80	--	--	20	--	20	50
Alcoy	15	15	10	40	50	--	10	--	60	20
Almería	18	27	23	68	--	--	18	14	32	22
Barcelona	23	10	30	53	20	--	17	--	37	30
Mataró	3	25	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) (Q_1 primer cuartil, Q_3 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.

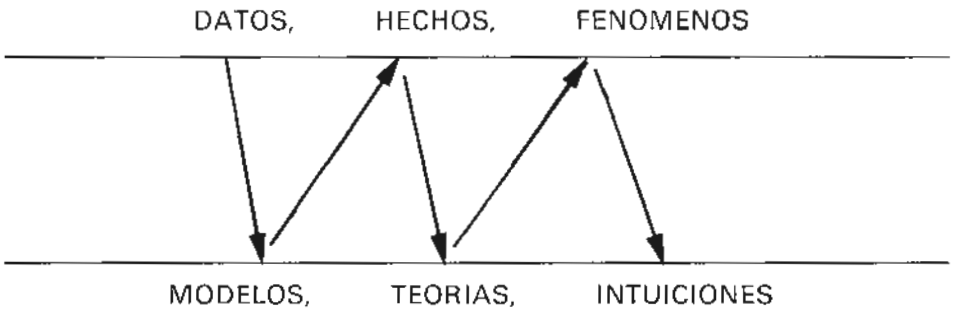


FIG. 1. Aprendizaje Iterativo

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.

4.6 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 Cordero (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 impartiéndose 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 "repaso" 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 o 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 integramente 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 daros 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 poliol/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, idispensable 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 analizasen 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 utilizasen la Estadística en los laboratorios de los Departamentos de Ingeniería.

g) El curriculum 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 estímu o 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 Statistican,* 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". *Questiio,* 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.

Quality Engineering 3(1), 59–73 (1990–91)

CASE STUDY: EXPERIMENTAL DESIGN IN A PET FOOD MANUFACTURING COMPANY

ALBERT PRAT and XAVIER TORT
Department of Statistics
E.T.S.I.I.B.
Avda. Diagonal, 647
08028 Barcelona, Spain

Key Words

Quality improvement; Design of experiments; Fractional factorials; Multiresponse; Nonorthogonal designs

Introduction

Companies and service organizations worldwide have become aware of the New Economic Era (1), focused on quality and productivity improvement as the best strategy to survive in today's marketplace. The idea that quality is achieved by constantly improving all processes and products on a companywide basis (2–4) is gaining ground in many organizations.

Statistics is a key ingredient of Quality Leadership Management (5), for if decisions are to be based on data instead of guesswork, the use of a scientific approach becomes standard procedure. In many instances, only elementary statistical tools (6) will be required to achieve substantial improvements, especially if these tools are applied with constancy of purpose and with genuine top management involvement. On the other hand, in the domain of new product and/or process design, development, and improvement, the more complicated statistical

Copyright © 1990 by Marcel Dekker, Inc.

techniques of design of experiments (7–10) and quality engineering (11) are very useful, especially if the good and new ideas contained in Ref. 11 are applied with good statistical methods as has been suggested in Ref. 12.

As has been pointed out (13), experimentation in the complex world of industrial and service organizations is much more than deciding on a matrix of experimental points. In our opinion, a deep understanding of the basic engineering concepts underlying the process being studied as well as its technical and economic constraints, together with a profound knowledge of statistics, are necessary conditions for successful real world experiments.

The experimental design described here is a plant experiment and was run in order to improve the process of manufacturing a particular brand of pet food. Several responses were measured, for the goal was not only to improve quality but quantity and cost as well. The process engineer, the quality assurance engineer, two process operators, together with the authors of this report, were the members of the quality improvement team.

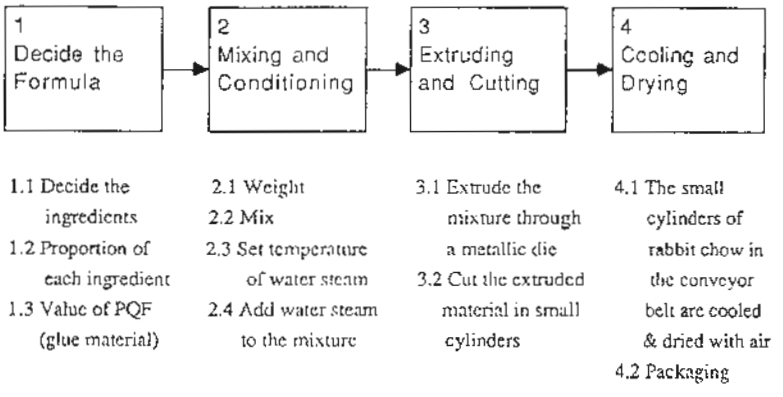
This article defines the problem, tells why it was important, describes the process of developing a solution, and provides a partial explanation of the results.

The Problem

The process of manufacturing rabbit food is schematically represented in the topdown flowchart (5) of Figure 1.

The two main quality-related problems in the process were:

1. During the cooling and drying of the rabbit food pellets, a loss of product in the form of fine powder was taking place. Reducing this kind of loss was one objective.
2. The most important problem from the point of view of the customer was that after packaging, during manipulation and transportation, the pellets eroded,



leaving a fine powder residue. This created digestive problems in the rabbits in addition to representing a loss of useful product.

The first problem (amount of powder in the process) could be easily measured as percentage of the process yield. The second problem (amount of powder at the customer's point of purchase) was not measurable at the manufacturing plant directly. Therefore, the process of the product's erosion during transportation was simulated in two special pieces of equipment called "checkers." During every run (batch), 4 samples of 3 kg each were taken at 5 minute intervals. Each sample was then divided into two parts which were submitted to the checkers for a period of 30 minutes. The response, the average of eight observations, was measured as percentage of powder in 1.5 kg of product.

Although the main objective was to improve quality, the engineers were also interested in controlling productivity and cost. Therefore, two additional factors were considered. Productivity was measured by the process yield in Tm/hour (metric tons/hr) and cost was considered in the form of energy consumption in each batch.

Broadly speaking, our objective was to improve quality, especially with the aim of minimizing the amount of powder or dust in the product while keeping productivity, losses of product during the process, and cost at acceptable levels. In addition to this immediate objective, the quality improvement team had other more intangible purposes in mind. Among them:

1. To educate the company to consider quality from the customer's point of view (market-in) instead of quality from an internal perspective (product-out). The fact that for the first time the amount of dust in the product arriving at the point of consumption was considered is a step in the right direction.
2. To show the engineers and plant personnel how simple experiments permit correlation of the final quality, productivity, and cost characteristics to controllable variables in the process, thus allowing the standardization of the operating conditions.
3. To educate plant personnel in the necessity of collecting good data for decision making. In this sense, the fact that only 12 sets of data obtained in a single day supplied a great amount of information on the process was an excellent way of conveying the message.
4. To educate the engineers in the usefulness of scientific feedback arising from comparing data with theories or hunches.

Factors and Constraints

Although as we will see below, the experiment was run in a single day, it took several weeks of work on the part of the quality improvement team to prepare the

design and to instruct all those involved. First, the plant manager had to be convinced of the importance of running in-plant experimental designs in order to improve products and processes. This was accomplished through a two-hour presentation following a two-day detailed visit to the plant in order to obtain on-site information of what the problem was, the physical layout of the process, the constraints involved, and other relevant knowledge of the plant's operation. Second, we pointed out to the engineers that if one wants to get useful information with a very limited number of runs, it is essential to guarantee the quality of the data to be gathered during the experiment. They proceeded to train the operators and to make capability studies of the checkers and other measurement instruments. These studies convinced us that the measurement error was negligible compared with the noise in the process.

In order to facilitate data collection, we prepared a special form for the plant operators, containing detailed information on the run order, the values at which every experimental factor should be set, space for recording all the responses in each run, and as Box (17) recommends, in order to allow for Murphy's law, space was allocated for recording any incidents that occurred during the experimentation period.

In order to determine which factors affected the quality, productivity, and cost characteristics, we asked the engineers the following question: What do you do, during daily operation of the process, when quality deteriorates? (Note: powder is the only observable measure of quality).

They answered:

First, reduce the flow of mixture in the extrusion (step 3), although this will reduce yield.

Second, raise the conditioning temperature of the mixture in (step 2.3). This will increase the energy consumption.

Third, change the compression length of the die used in step 3 (extrusion). This is very time consuming and reduces yield.

Finally, as a last resort, one may change the formula by adding glue material (step 1.3).

During the meeting at the manufacturing plant, following a detailed first-hand experience with the process, it was suggested that mixture-type designs could be applied in order to study the quality impact of different formulas. This idea, which we may use in the future, was discarded in the first experimental design because it would increase the necessary number of runs to an unacceptable level.

Therefore, for reasons of economy and from our engineering knowledge of the process, it was decided to experiment with four factors, each at two levels. The factors and levels selected were those of Table 1.

The levels of the factors were chosen according to the following criteria: the experiments had to be run in the real plant and salable product ought to be produced. Also, all runs should be performed during one day. This implied a maximum allowable number of 13 runs.

Table 1. Factors and Levels

	FACTOR	LEVEL −	LEVEL +
X_1:	Formula (PQF)	10	20
X_2:	Conditioning temperature	80% of T (°C)	T (maximum)
X_3:	Flow	80% of F (Tm/h)	F (maximum)
X_4:	Compression zone in die	2″	2½″

It was also decided that no confounding between main effects and two-factor interactions was admissible. The reason was that, in a multiple response situation, different unexpected interactions could affect each response and, therefore, at least all two-factor interactions should be considered. This excluded the possibility of running a 2^{4-1} fractional factorial or a 2^3 complete factorial; even if one could assume that only a few factors are important for each response, those factors could differ from one response to another and therefore all four factors should be considered.

Finally, randomization was discussed. It was suggested that factor 4 (compression zone of the die) was difficult to change. We presented the engineers with two possibilities. First, one could consider a split-plot type of design with factor 4 confounded with the main plots. The problem with this design is that the effect of any "lurking variable" (10) that could affect the responses is going to be confounded with factor 4. Another alternative was to completely randomize the design. As a trade-off, it was decided to change factor 4 three times during the day.

Experimental Design

All of the above-mentioned constraints could be accommodated in a 12-run nonorthogonal design of resolution V, of the type described in Ref. 14. The design is presented in Table 2, where the responses are:

Y_1 : Powder in the product
Y_2 : Powder in the process
Y_3 : Yield
Y_4 : Energy consumption

In Appendix 1, we show that this design is of resolution V. This means that we can estimate all four main effects and all the two-factor interactions provided that interactions of order three and four are unimportant (as is usually the case).

If one were not sure that higher order interactions are negligible, then a full factorial design with 16 runs should be considered.

Table 2. The Experimental Design (a 3/4 Fraction of a 2^4 and the Responses)

RANDOM ORDER	RUN NUMBER	FACTORS				RESPONSES			
		X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
12	1	−	+	−	+	.916	1.92	7.50	222.5
9	2	+	−	−	−	1.178	2.07	8.70	238.0
3	3	−	+	+	−	1.216	1.85	10.20	250.4
4	4	+	−	+	+	1.119	2.03	6.20	250.4
1	5	−	−	−	−	1.315	1.66	8.30	235.0
10	6	+	+	−	+	.911	2.08	7.20	222.0
11	7	−	−	+	+	1.070	1.96	7.95	267.5
2	8	+	+	+	−	1.273	2.13	9.60	248.2
8	9	−	+	−	−	1.071	1.62	8.50	224.0
6	10	+	−	−	+	1.025	1.73	5.90	233.3
5	11	−	+	+	+	1.040	1.64	7.30	248.5
7	12	+	−	+	−	1.174	1.93	9.95	255.0

Analysis

Although scatterplots between pairs of responses indicated the existence of correlation between some responses, we proceeded to the analysis of each response separately. The correlation was taken into account, at the end of the study, by looking at all responses jointly.

For each Y_i ($i = 1,2,3,4$), we fitted a model including the four main effects and the six two-factor interactions by least squares. Then, the estimated effects were plotted on normal probability plots and a simplified model, including only the significant effects, was again fitted by least squares.

Several graphical diagnostic tools were used in order to check the models, and in searching for possible outliers and/or influential observations.

The analysis for the response of main interest, Y_1 (powder in the product) as well as the main results for Y_2, Y_3, and Y_4 are presented in this section.

The estimated coefficients in the model:

$$Y_{i1} = \beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\beta_3X_3+\beta_4X_4+\beta_{12}X_1X_2+\beta_{13}X_1X_3+ \beta_{14}X_1X_4+\beta_{23}X_2X_3+\beta_{24}X_2X_4+\beta_{34}X_3X_4+\epsilon_i \quad (1)$$

are:

μ	X_1	X_2	X_3	X_4	X_1X_2	X_1X_3	X_1X_4	S_2X_3	X_2X_4	X_3X_4
b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_{12}	b_{13}	b_{14}	b_{23}	b_{24}	b_{34}
1.12	−.0045	−.03613	.0449	−.0674	.0249	.0310	.0155	.0534	.0001	.0096

These effects are plotted in Figure 2, after excluding b_0.

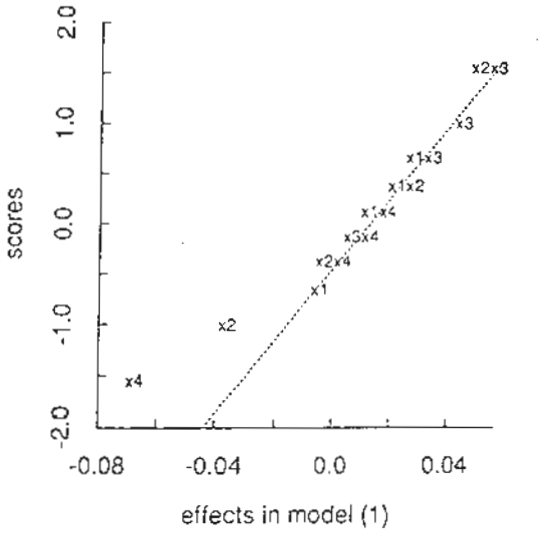


Figure 2. Normal probability plot of estimated effects in model (1). Response is powder in the product.

Only X_4 has clearly a significant effect on the mean and X_2 might also be of some importance, therefore the tentative model:

$$Y_{1i} = \beta_0 + \beta_2 X_2 + \beta_4 X_4 + \epsilon_{1i} \tag{2}$$

was fitted by ordinary least-squares analysis. The estimated coefficients and standard errors are:

Factor :	μ	X_2	X_4
Coefficient :	b_0	b_2	b_4
Value :	1.109	−.038	−.095
Standard error :		.022	.022

The plot of residuals versus the predicted values, $\hat{Y}$, showed no unusual pattern, and model (2) was tentatively retained.

Projecting the data for response Y_1, in the X_2X_4 plane one gets Figure 3.

The effect of X_4 is quite clear. In fact, the model containing only this factor is almost as good as model (2) (see Fig. 4).

This model is:

$$\hat{Y}_1 = 1.109 - .0955\, X_4 \tag{3}$$

Standard error = (.0244)

The conclusion is then that only the compression zone of the die has an important effect on the main quality characteristic, with a small additional effect of the conditioning temperature. This is consistent with β_2 being barely significant in model (2).

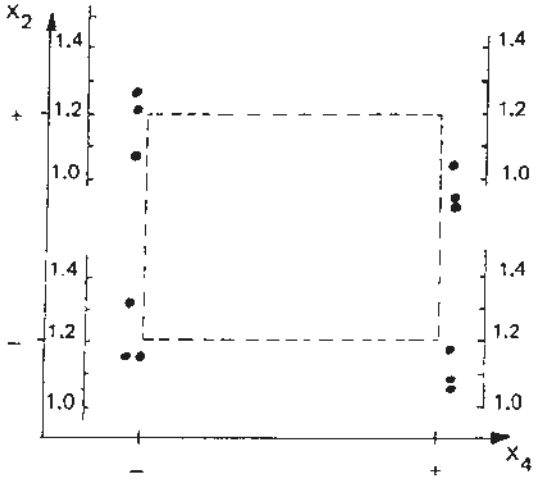


Figure 3. Response Y_1 projected in the X_2, X_4 plane.

Following the same approach, the best model for Y_2, powder in the process, was found to be:

$$\hat{Y}_2 = 1.885 + .11X_1 \tag{4}$$
$$(.043)$$

Therefore, this response is only affected by the PQF (glue material) contained in the formula.

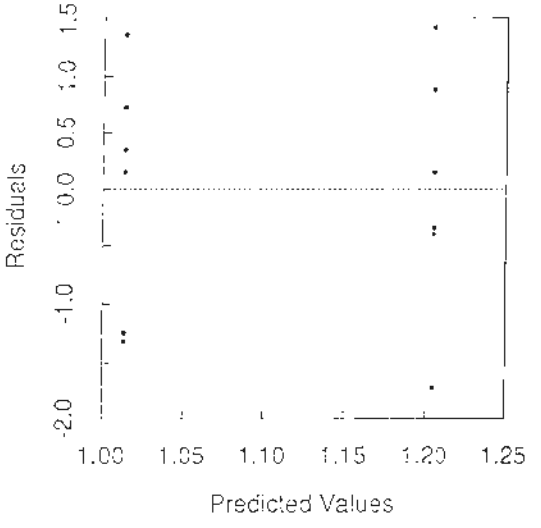


Figure 4. Standardized residuals, e_i, versus predicted values, Y_i, in Model (3).

When modelling the response Y_3 (process yield), an outlier was detected. The normal probability plot of the estimated effects for the model:

$$Y_3 = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_{34} X_3 X_4 + \epsilon_3 \tag{6}$$

appears on Figure 5.

As has been pointed out (16), outliers can be identified in half-normal probability paper. In a normal probability plot the split around 0 could be an indication of an outlying observation. One way to detect this possible outlier is to compute

$$\mathbf{H} = (\mathbf{X}_1' \mathbf{X}_1)^{-1} \mathbf{X}_1$$

for $\mathbf{b} = \mathbf{Hy}$. The signs of the columns of $\mathbf{H}$ are the signs that each individual observation has in the linear contrasts for each effect. In our case, the observation corresponding to run #10 had, minus sign in the contrasts for X_3, X_1X_2, X_2, and X_2X_4 and therefore could be responsible for the observed split. In fact, the value of this observation, 5.90, was found to have been incorrectly copied in the data sheet, the true value being 6.90.

In the corrected plot of Figure 6, only X_4 seems to affect yield. The model was:

$$\hat{Y}_3 = 8.19 - \underset{(.2045)}{1.0179}\, X_4 \tag{7}$$

and no problems were detected in the residuals.

Finally, when modelling the energy consumption, observation #7 was also a suspected outlier. No reason was found for this observation, so that it was retained in a first analysis.

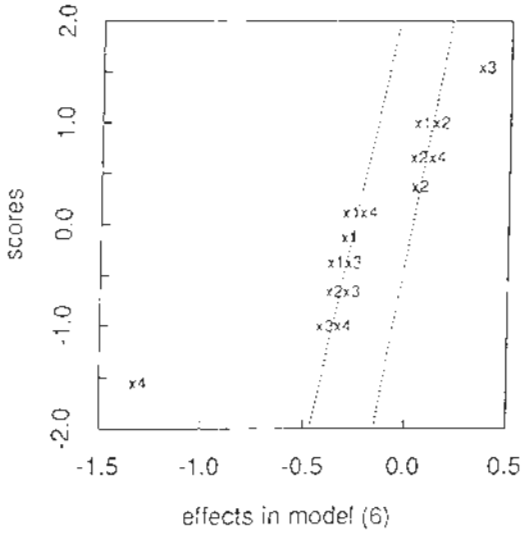


Figure 5. Normal probability plot of estimated effects in Model (6). Response in process yield.

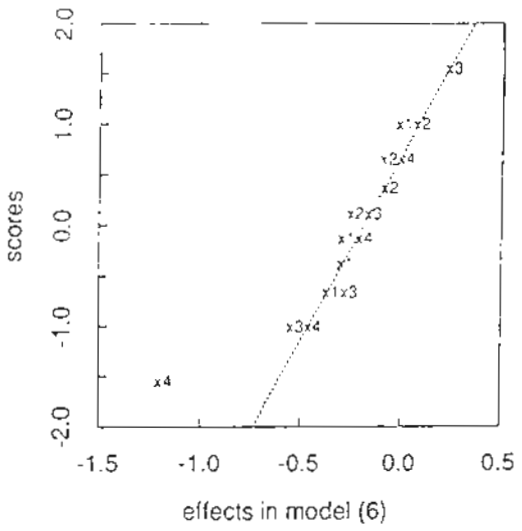


Figure 6. Normal probability plot for model (6) with observation #10 reset to the correct value.

First, we fitted the model:

$$Y_4 = \beta_0 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \epsilon_4 \tag{8}$$

The residual plot of this model appears in Figure 7. Again, observation #7 was pointed out as an outlier.

This observation was also a outlier in all the scatterplots of Y_4 versus the other responses. Because of accumulating evidence, run #7 was excluded in the estimation of the model (8). The results are:

$$Y_4 = 240 - 4.07\,X_2 + 10.87\,X_3 + 2.23\,X_2X_3 \tag{9}$$

$$(.60)(.60)(.60)$$

and no problems appeared in the residual plot.

Main Results

The results of the analysis are summarized in Table 3.

The existence of interaction between factors X_2 and X_3 on energy consumption suggests that those factors should be analyzed jointly as in Figure 8.

In order to get scientific feedback (18), the models summarized in Table 3, and especially the *signs* with which the different factors appear, where analyzed from an engineering point of view. As in many real situations only partial explanations were possible.

For example, the fact that increasing the compression zone of the die (X_4) has a negative effect on the yield (Y_3) seemed reasonable due to an increase in the

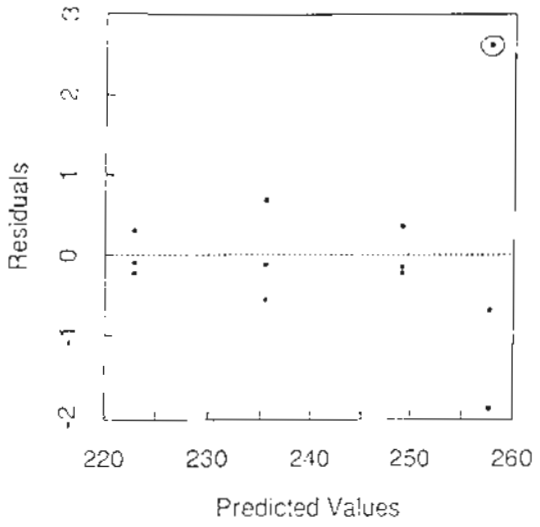


Figure 7. Standardized residuals versus fitted values in Model (8).

difficulty of extruding the mixture. Also, the increase in energy consumption (Y_4) when the flow (X_3) is increased was expected, but the fact that increasing the conditioning temperature (X_2) while keeping the flow rate (X_3) at its low level gives the lowest energy consumption deserves further engineering studies in order to explain this unexpected interaction. In fact, the engineers expected an increase in energy consumption when increasing the conditioning temperature as explained earlier.

Another surprise was the fact that the powder or dust in the process (Y_2) is not very well explained by the factors considered during the experiment. Only the glue material (X_1) has a barely significant effect and in the opposite direction as expected by the engineers. This also requires further thinking on the physics of the process.

Table 3. Summary of Results

		COEFFICIENTS FOR FACTORS:					
RESPONSE	CONSTANT	X_1	X_2	X_3	X_4	X_2X_3	ADJUSTED R^2
Powder Y_1 = in product	1.109		−.038		−.095		63.2%
Powder in Y_2 = in process	1.885	+.11					33.4%
Yield Y_3 =	8.19				−1.017		68.3%
Energy Y_4 = consumption	240		−4.07	10.87		2.23	97.5%

Observation #7 has been excluded for estimating the model corresponding to Y_4.

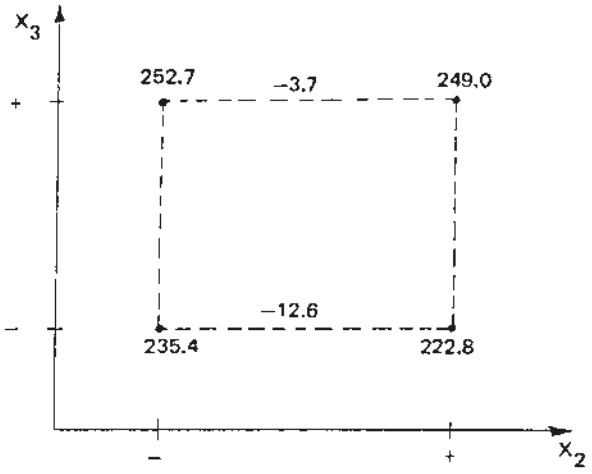


Figure 8. Mean energy consumption (Y_4).

Another lesson learned was that Y_2 (amount of powder in the process) is uncorrelated with all other responses. This can be seen in the bivariate scatterplots of Y_2 versus all other responses and also by noting that X_1 affects Y_2, but not Y_1, Y_3, or Y_4. Therefore, to use this indicator to control the quality characteristic Y_1 was not a practice to be recommended. In order to minimize the loss of useful product, Y_2 should be minimized. The recommendation was to use low levels of glue material X_1, or even better, try to run mixture type of experiments with the formula. This suggestion is going to be implemented in future experiments.

The main quality characteristic, Y_1 (amount of powder in the product) and the cost characteristic Y_4 (energy consumption), could be optimized simultaneously, but a trade-off was necessary between those responses and productivity, Y_3 (yield) involving the compression zone of the die. Using the high level of X_2 (conditioning temperature) and low level of X_3 (flow) decreases both the energy consumption and the amount of powder in the product, and therefore, those levels were recommended. Also, experimenting with lower levels of X_3 and higher levels of X_2 could be worth considering.

As for the compression zone, X_4, if used at its high level will increase quality (Y_1) but decrease productivity (Y_3). The reason for lower yield is that extrusion through a 2½″ die is more difficult than through a 2″ die.

The suggestion was made that, again, experimenting with the formula, one could try to reduce the viscosity of the extruded material and gain productivity. The question to be answered in future experiments is if quality, Y_1, can also be improved simultaneously.

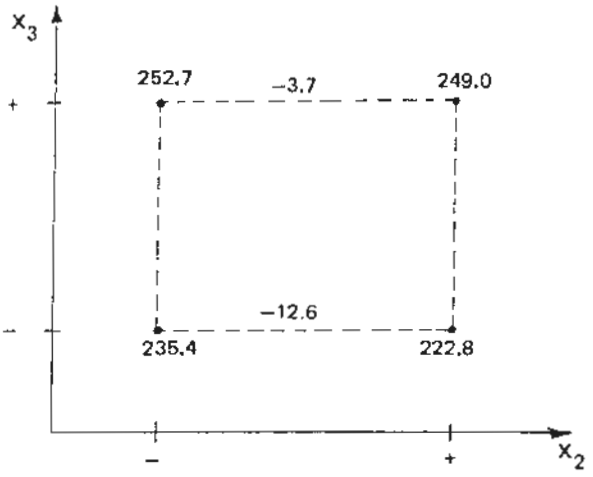


Figure 8. Mean energy consumption (Y_4).

Another lesson learned was that Y_2 (amount of powder in the process) is uncorrelated with all other responses. This can be seen in the bivariate scatterplots of Y_2 versus all other responses and also by noting that X_1 affects Y_2, but not Y_1, Y_3, or Y_4. Therefore, to use this indicator to control the quality characteristic Y_1 was not a practice to be recommended. In order to minimize the loss of useful product, Y_2 should be minimized. The recommendation was to use low levels of glue material X_1, or even better, try to run mixture type of experiments with the formula. This suggestion is going to be implemented in future experiments.

The main quality characteristic, Y_1 (amount of powder in the product) and the cost characteristic Y_4 (energy consumption), could be optimized simultaneously, but a trade-off was necessary between those responses and productivity, Y_3 (yield) involving the compression zone of the die. Using the high level of X_2 (conditioning temperature) and low level of X_3 (flow) decreases both the energy consumption and the amount of powder in the product, and therefore, those levels were recommended. Also, experimenting with lower levels of X_3 and higher levels of X_2 could be worth considering.

As for the compression zone, X_4, if used at its high level will increase quality (Y_1) but decrease productivity (Y_3). The reason for lower yield is that extrusion through a 2½″ die is more difficult than through a 2″ die.

The suggestion was made that, again, experimenting with the formula, one could try to reduce the viscosity of the extruded material and gain productivity. The question to be answered in future experiments is if quality, Y_1, can also be improved simultaneously.

Conclusions

Real plant experimentation faces the experimenter with economical and technical constraints. In this case study it has been possible to take into account those constraints in a 12-run resolution V design.

Four responses were studied. The internal losses in the process could be decreased in the short term by using low levels of glue material. Further mixture-type experiments were recommended with the formula in order to further decrease the internal losses as well as a way to solve the trade-off between quality and productivity arising from the effect of the compression zone of the die.

Finally, the conditioning temperature and the flow could be set in such a way that the quality improved while the energy consumption was also decreased.

Acknowledgments

We are grateful to the factory personnel that collaborated with us in the planning and running of the experiment; especially to the engineers, J. Cifuentes and F. Blanch. We also want to thank the referees for very useful comments, suggestions, and language corrections.

Appendix 1

One way to see that the design is of resolution V is as follows:

If the true model relating a response y_i to the experimental factors is:

$$\text{True model:} \qquad y_i = X_1\beta_1 + X_2\beta_2 + \epsilon_i$$

and we fit the model:

$$\text{Fitted model:} \qquad y_i = X_1\beta_1 + \epsilon_i$$

then if $b_1 = (\mathbf{X}'_1\mathbf{X}_1)^{-1}\mathbf{X}'_1\mathbf{Y}$ is the OLS estimation of $\beta 1$, it is well known that:

$$E(b_1) = \beta_1 + (\mathbf{X}'_1\mathbf{X}_1)^{-1}\mathbf{X}'_1X_2\beta_2 = \beta_1 + \mathbf{B}\beta_2$$

where **B** matrix is the bias matrix:

$$\mathbf{B} = (\mathbf{X}'_1\mathbf{X}_1)^{-1}\mathbf{X}'_1\mathbf{X}_2$$

If the four main effects and the six two-factor interaction are considered as being the columns of $\mathbf{X}_1$, and $\mathbf{X}_2$ has as columns the four three-factor interactions and the four-factor interaction then the product $\mathbf{B}\beta_2$ is:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -.33 & -.33 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 123 \\ 124 \\ 134 \\ 234 \\ 1234 \end{bmatrix}$$

and therefore the confounding pattern, in the notation of Ref. 10, is:

$$\begin{aligned} 1 &= 1 - 1234 & 13 &= 13 - 124 \\ 2 &= 2 - 1234 & 14 &= 14 - 123 \\ 3 &= 3 - 123 & 23 &= 23 - 124 \\ 4 &= 4 - 124 & 24 &= 24 - 123 \\ 12 &= 12 - (.33)\,134 - (.33)\,234 & 34 &= 34 - 1234 \end{aligned}$$

which clearly shows the resolution V of the design. This high resolution in only 12 runs was achieved at the expense of orthogonality. The design is nonorthogonal as can be seen by computing the matrix $(\mathbf{X}'_1\mathbf{X}_1)^{-1}$. The relationship of the nonzero off-diagonal terms to the diagonal ones in this matrix is of the order: .06/.125 so that no severe nonorthogonality is present.

The matrix $(\mathbf{X}'_1\mathbf{X}_1)^{-1}$ is (where "·" refers to 0)

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 12 & 13 & 14 & 23 & 24 & 34 \\ 0.125 & 0.6 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & .06 \\ .06 & 0.125 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & .06 \\ \cdot & \cdot & 0.125 & \cdot & \cdot & \cdot & .06 & \cdot & .06 & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & 0.125 & \cdot & .06 & \cdot & .06 & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0.083 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & .06 & \cdot & 0.125 & \cdot & .06 & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & .06 & \cdot & \cdot & \cdot & 0.125 & \cdot & .06 & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & .06 & \cdot & .06 & \cdot & 0.125 & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & .06 & \cdot & \cdot & \cdot & .06 & \cdot & 0.125 & \cdot \\ .06 & .06 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0.125 \end{bmatrix}$$

References

1. W.E. Deming, *Out of the Crisis*. MIT Center for Advanced Engineering Study, Cambridge, MA, 1986.
2. M. Imai, *The Key to Japan's Competitive Success*. Random House. New York, 1986.

3. K. Ishikawa, *What is Total Quality Control? The Japanese Way*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1985.
4. J.M. Juran and F.M. Gryna, *Quality Planning Analysis*. McGraw Hill, New York, 1980.
5. P.R. Scholtes, *The Team Handbook*. Joiner Associates, Madison, WI, 1988.
6. K. Ishikawa, *Guide to Quality Control*. Unipub, New York, 1987.
7. R.A. Fisher, *Statistical Methods for Research Workers*. Oliver and Boyd, London, 1935.
8. R.A. Fisher, *The Design of Experiments*. Oliver and Boyd, London, 1935.
9. W.G. Cochran and D.R. Cox, *Experimental Designs*. John Wiley, New York, 1957.
10. G.E.P. Box, W.G. Hunter, and J.S. Hunter, *Statistics for Experimenters*. John Wiley, New York, 1978.
11. G. Taguchi, *Introduction to Quality Engineering*. Unipub, New York, 1986.
12. G.E.P. Box, S. Bisgaard, and C. Fung, *An Explanation and Critique of Taguchi's Contribution to Quality Engineering*. Quality and Reliability Engineering International, Volume 4, 1988, pp. 123–131.
13. G.J. Hahn, Experimental Design in the Complex World. Technometrics, 26(1), 19–31. (1984).
14. P.W.M. John, *Statistical Design and Analysis of Experiments*. Macmillan, New York, 1971.
15. G.E.P. Box, et al., Some Problems Associated With the Analysis of Multiresponse Data. *Technometrics 15*, 33–51, (1973).
16. C. Daniel, Use of Half-Normal Plots in Interpreting Factorial Two-Level Experiments. *Technometrics, 4*, 311–341 (1959).
17. G.E.P. Box. *When Murphy Speaks, Listen*. Center for Quality and Productivity Improvement. University of Wisconsin. Technical Report #34 (1989).
18. G.E.P. Box and N.R. Draper, *Evolutionary Operations*. John Wiley, New York, 1969.

About the Authors: Dr. Albert Prat is Professor of Statistics at the School of Industrial Engineering, Polytechnic University of Catalonia in Spain. He has been visiting Scholar at the Graduate School of Business, University of Chicago, and visiting Professor at the University of Wisconsin-Madison. He is a member of I.S.I., A.S.Q.C. and A.S.A.

Dr. Xavier Tort is Assistant Professor at the School of Industrial Engineering, Polytechnic University of Catalonia in Spain, and Quality Manager at SISTECAL.

Using the FOCUS architecture for developing knowledge-based front ends: a KBFE for forecasting

A Prat, M Catot, P Fletcher, J Lorés and R Southwick*

Statistical packages, optimisation packages and numerical-algorithms libraries are widely used in industrial and scientific development environments. They represent an enormous body of very complex and valuable knowledge that is becoming increasingly difficult to access. End users of these systems have to cope simultaneously with the intricacies of the software and with the increasing complexity of the application-domain problems. For these systems, knowledge-based front ends can provide co-operative assistance to end users, enabling them to use the systems successfully, while preserving the knowhow contained in the libraries and packages. They are also valuable in extending the software's working life.

FOCUS is an ESPRIT-2 project whose goal is to develop generic tools and techniques for constructing and maintaining KBFEs for open user systems (e.g. libraries, reusable software components) and closed user systems (e.g. free-standing software, packages) for industrial and scientific applications. The participating partners are drawn from both industrial and academic institutions, providing a wide crosssection of software researchers, producers and users, and, although there are substantial research objectives, the project has taken a pragmatic approach, with the commercialisation of products developed playing a prominent role.

The paper describes part of the work undertaken during the twenty-fourth month of the ESPRIT II project, which began in December 1988 and ran for four years. The aims of the FOCUS project are stated, and a core element of the emerging FOCUS design strategy is described, namely a separable architecture for knowledge-based front ends, concentrating on the front-end harness, the problem solver and the back-end manager components. Some KBFEs developed using this architecture, and the tools created within the project that operate in the domain of forecasting, are also described.

Keywords: knowledge-based front end, interface separability, back-end manager, user interface, problem solver.

Departmento de Estadistica, ETSEIB, Avda. Diagonal 647 08028, Barcelona, Spain
*Quintas, 2100 Ging Road, Palo Alto, CA 94303, USA
Paper received 5 December 1991. Revised paper received 21 September 1992. Accepted 22 September 1992

A wide and ever-growing range of application packages and libraries are now available to assist computer users in addressing a large variety of computing tasks. Some of these users write computer programmes in the traditional sense, and so are mainly interested in incorporating computational units (e.g. from libraries) in their programs. However, an increasing number of users are 'non-programmers' who make use of their chosen application package(s) rather than program in general purpose programming languages. Using the term 'user system' to refer to both application packages and libraries, we observe that computer users rightly expect that such systems should possess a number of qualities such as reliability, efficiency, flexibility etc., but there is also a discernible, growing demand for 'ease of use', particularly in the initial learning stages, and for continuing 'support in use' as the user gains more confidence and addresses more complex topics within his/her chosen user system. It is considered that the most effective way to provide such assistance is through the use of knowledge-based front ends (KBFEs) which contain explicitly represented knowledge of the user system and of the host environment in which that system is to be used.

PROGRAMME

The objectives of the projects were achieved within a programme of work which can be viewed as a three phase exercise. In Phase 1, state-of-the-art prototype KBFE systems (e.g. GLIMPSE (Nelder and Wolstenholme, 1986) were studied, and various other investigations carried out, to define and generate an initial set

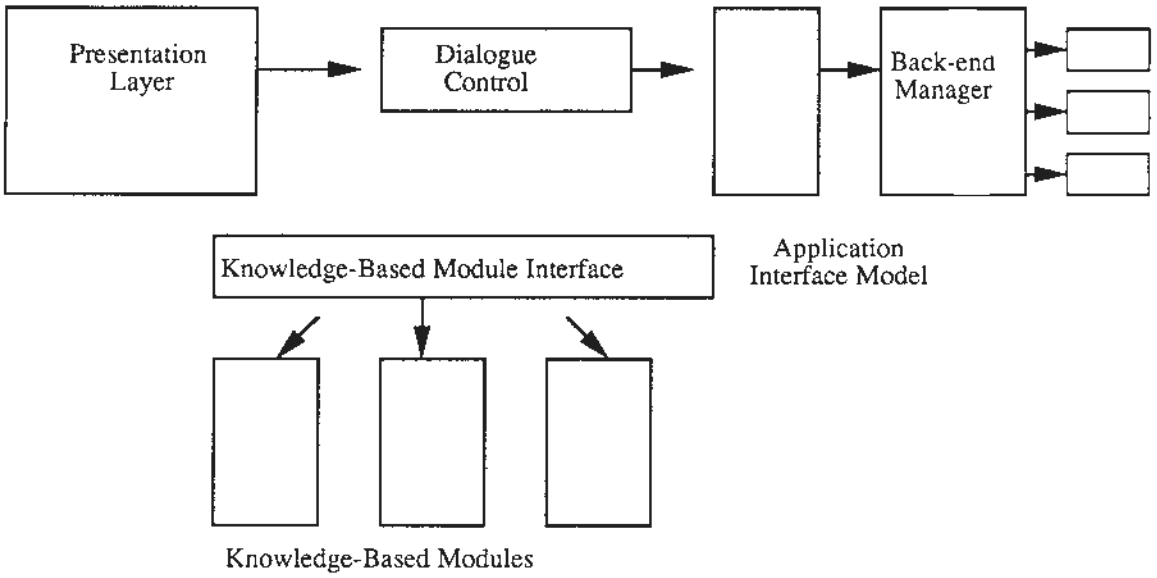


Figure 1. FOCUS architecture

of generalised tools, techniques and methodologies. In particular, an overall FOCUS architecture for KBFE construction was devised.

In Phase 2, first generation FOCUS KBFE prototype systems were constructed to validate the principles of the architecture and provide feedback to tool developers preparing the next set of tools. In Phase 3, the tools, together with refinements in the techniques and methodology produced by evaluation exercises were applied to produce a second and third generation of FOCUS KBFE prototypes, with particular reference to the perceived needs of the numerous marketplaces in which FOCUS technology could potentially be applied. In all phases of the project, on-site user evaluation took place, and feedback will be given to the developers of the KBFE prototypes and the tools.

KBFE architecture

The KBFE architecture described below (see Figure 1) is an extension of the Seeheim model (Green, 1985). It consists of a presentation layer, a dialogue control layer and an application interface model. The application interface layer contains an explicit application model. The purpose of this is to provide a clear and clean interface between the front and back ends.

In addition to these three user-interface layers (Pfaff, 1983), the KBFE also incorporates a number of intelligent knowledge-based modules (KBM) which encode domain knowledge useful for user guidance and assistance and a back end manager (BEM) which deals with implementation details of the back end applications. The rest of the KBFE, with the exception of these modules but including their communication and support software, constitutes the front end harness (FEH).

The various modules which comprise the KBFE can be distinct software entities. They need not be physically located on the same machine and can communicate over networks if necessary. Communication is accomplished through a standard message structure (Edmonds *et al.*, 1992).

Front-end harness

The front-end harness consists of three modules, as follows.

Presentation layer

This is the software component responsible for the management of the surface level human computer interface. It is built on top of the X Windows system and interprets a high level description on the interface to produce interaction objects on the display. These distance the interface builder from much of the tedious programming required by the X Windows toolkits, and can be used, accommodating whatever 'look and feel' is required. The interaction objects are highly autonomous and store a good deal of what used to be called dialogue state information.

The presentation layer transforms user interaction into message structures which are, in turn, transmitted to the dialogue control module. These messages can be preprogrammed when an object is created or derived during an interaction sequence. This affords a considerable degree of flexibility in their structure and content.

Dialogue control

This module is central to the FEH. It manages and coordinates communication between the other FEH components and at the same time controls the dialogue with the user.

For simplicity, the dialogue control module treats all of the modules with which it communicates in the same way. Communication is effected through message structures and a protocol for their transmission. In addition to their content the messages contain an identifier and information relating to their route. Messages may give rise to a reply which will return as another message.

Application interface model

In order for the dialogue controller to communicate with the back-end manager it is necessary to map between the dialogue state and the back end tasks. This is accomplished by the application model, which contains representations of the back end functionality.

In classical user-interface management systems this model has often been implicitly embedded with the dialogue controller, thus negating the benefits of interface separation. In the FEH this model is explicit and with open user systems such as software libraries which may not have a great deal of user-interface structure.

The knowledge based model interface and the application interface model can in fact be implemented as a single software module.

A more detailed description of the front end harness can be found in Edmonds and McDaid, 1990.

Knowledge-based modules

Domain knowledge is encoded in a series of *knowledge modules*. Knowledge is represented declaratively using logic, in the form of PROLOG clauses, as the representational formalism. Note that domain knowledge is not application dependent: back end applications provide information that assists in the solution of a problem in the domain.

There may be several knowledge modules, each covering a different area of information. These include domain specific knowledge, which describes relationships between domain entities, application specific knowledge, which contains information on the use of an application package and strategic information on the use of an application package, and strategic knowledge, which contains methods useful for finding solutions to a particular problem.

Inference using this knowledge is performed using a logic-based problem solver (PS). The PS is an inference engine that incorporates a backward reasoning search strategy. This search strategy is the same as that used by PROLOG, and for a good reason: the PS solves queries just as PROLOG would, but has the additional functionality that makes it useful for use in a KBFE setting. The use of a PROLOG-based inference engine is well known (see, for example, Clark and McCabe, 1982). The problem solver is a conceptual descendent of one such system, APES (Hammond, 1982), and owes much to the original APES system.

Control of the inference process is specified through a set of meta-level statements in the domain programme. These are used, for example, to declare that certain information should be requested from the user, or from a back end application via the BEM. This separation of data and control facilitates a modular construction of the domain knowledge bases.

The problem solver has several notable features:

- *Blending transformer:* The PS does not employ a meta-interpreter, as do many PROLOG-based inference engines. Instead, it uses a programme transformation that 'blends' meta-level functionality into an object-level programme (Cosmadopoulos and Southwick, 1989).
- *Separation of data and control:* The PS operates on a logical model of a problem domain; information about how the problem solving process should be controlled is kept separate. The result is a clean representation of domain knowledge.
- *Managing user dialog:* If a problem solver interacts with a user, it must be prepared to behave in a manner acceptable to the user. The PS caters to the needs of users who may not know the answer to a system-generated question, or who change their minds.
- *Defaults, suggestions and help:* These guide and assist the user in answering unfamiliar questions, and can be either static (in the form of canned text), or context dependent (and computed 'on the fly').
- *Validity checking data:* Data entered by a user can be checked and immediately rejected if it does not satisfy predetermined constraints.
- *Explanation:* Currently, the PS offers standard 'how' and 'why' rule-trace explanations. In the case of explaining why user-entered data is invalid, however, a facility explains the reason for the failure.
- *Reason maintenance:* A system that reasons in a changing world needs some way of discovering the ramifications of changes that have occurred, and updating its view of the world accordingly. In the PS, this is accomplished through the use of a reason maintenance system (RMS). This records 'the logical dependencies that hold amongst program data, and allows a problem solver to exploit that information. With this record, an RMS provides several benefits: it avoids redundant computation, deals with inconsistency, manages the search process, and supports non-monotonic reasoning.

Communication between KBMs and other system components is managed by the dialogue control module, using the standard message structure found throughout the FOCUS system. In order to get some information from the user, for example, a message is dispatched to the FEH, which handles all the interaction with the user, and then sends a return message containing the appropriate data. This architecture allows a clean distinction between problem solving and interacting with external data sources, and it encourages a purely logical knowledge representation.

Back-end manager

While the front end harness and the knowledge based modules are concerned with the 'whys' and 'wherefores' of what the end user is or should be doing it is the BEM (Prat *et al.*, 1990) that takes care of the 'how', thus maintaining interface separability (Edmonds, 1992). Its prime responsibility therefore is that of mapping an application independent specification of the 'what' into an executable specification of the 'how' with respect to a particular application or package (i.e. mapping from a semantic to a syntactic specification), executing the application, and passing the relevant information back to the appropriate KBFE component.

To carry out this role the BEM must be 'programmed' by an expert user with knowledge about the syntax, semantics, functionality and environment of the application software. This information is stored in the form of specification objects (tasks and actions), back end I/O objects (templates and definitions extraction), and an environment knowledge base. Figure 2 illustrates the structure of the BEM showing its relationship with the rest of the KBFE architecture.

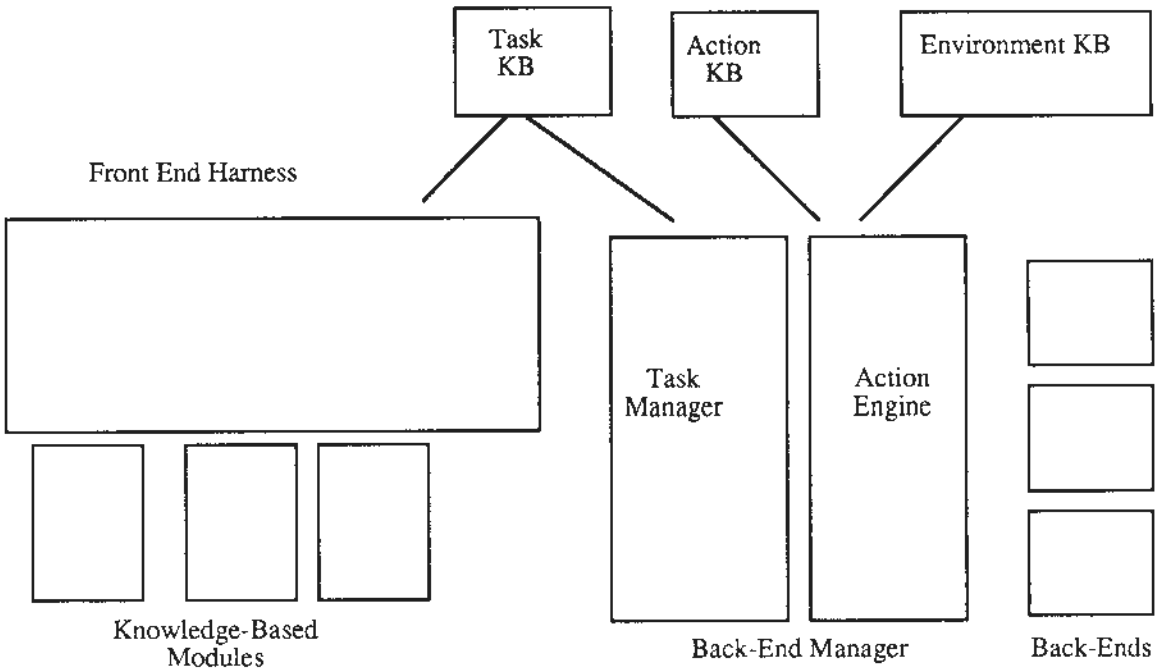


Figure 2. Back-end manager

KAFTS: A KBFE FOR FORECASTING

The Box–Jenkins methodology (Box and Jenkins, 1976) for modelling, and forecasting time series has long been considered one of the most efficient techniques, and it has been extensively used, especially for univariate data. The strategy of model identification, estimation and diagnostic checking requires that the person responsible for making the forecasts has considerable experience and knowledge. When the number of series to forecast is great (as in the case of a bank organisation) the task of modelling 'by hand' becomes almost impossible.

Here we present KAFTS, a KBFE for implementing the Box–Jenkins strategy, built using the FOCUS architecture on a back end subsystem consisting of standard statistical software and specialised custom built software.

Introduction

The class of ARIMA models provides a flexible set of parametric models that are useful in modelling a great variety of time series. In the case of seasonal data, the multiplicative form of such a model is

$$F_p(B)\, F_P(B^S)\, (1-B)^d\, (1-B^S)^D Z_t = q_0 + q_q(B)\, Q_Q(B^S) a_t \qquad (1)$$

where S is the seasonal period. B is the backshift operator ($BZ_t = Z_{t-1}$), $F_p(B)$ is a polynomial of degree p known as the autoregressive polynomial for the nonseasonal part, $F_P(B^S)$ is a polynomial of degree P in B^S known as the autoregressive polynomial for the seasonal part. $q_q(B)$ and $q_Q(B^S)$ are the moving average polynomials of degree q and Q for the nonseasonal and seasonal part, respectively, d and D are the degrees of regular and seasonal differencing of the original series needed to achieve stationarity, and q_0 is a constant. We assume that Equation 1 is such that the zeros of all the polynomials are outside the unit circle, there are no common zeros between the autoregressive and moving average polynomials, and $\{a_t\}$ is a white noise sequence. Z_t are the observations or a Box–Cox transformation of them.

The well known strategy for modelling time series data developed by Box and Jenkins (see Equation 1) consists mainly of three steps:

- *Identifications:* Given the data, a guess is made for the values of d, D, p, q, P and Q. This guess is based in the examinations of the estimated autocorrelation function and the partial autocorrelation function of the data.
- *Estimations:* Given a model identified in the previous step, the parameters of this model (the coefficients in the polynomials) are estimated using the maximum likelihood method.
- *Diagnostic checking:* A set of diagnostic checks is applied to the residuals of the estimated model in order to assess its validity.

These three steps are applied repeatedly until a useful model is obtained.

Next, the forecast for future observations is obtained from the retained model by taking conditional expectations:

$$Z_t(l) = E(Z_{t+l} \mid Z_t, Z_{t-1}, \ldots)$$

where $Z_t(l)$ is the forecast made at time t for the value Z_{t+l} ($l = 1, 2, \ldots$)

End users and objectives

The objectives of the KBFE are to provide a usable knowledge based interface to forecasting software.

The KBFE is aimed at two sets of end users. The system is to be used operationally by end users with little or no knowledge of the domain. For this group of end

Table 1. Information flow

Predicate name	Instantiated variables	Noninstantiated variables	Source of instantiation	Component responsible for instantiation
Time series		Data	User	FEH
Tentative model identification	Data	Identifiers	Back-end software (Idaut)	BEM
Estimate parameters	Data, identifiers	Model, diagnostics	Back-end software (SCA)	BEM
Check model	Data, identifiers, model	Diagnostics checked model	KBM domain rules	PS
Forecast	Data, identifers, checked model	Forecasts	Back-end software (GENSTAT)	BEM

users guidance must be at the operational level, both in terms of the use of the user interface and the practicalities of modelling time series in terms of data manipulation. Here, the KBFE will appear relatively automatic. However, provision must also be made for a second more statistically sophisticated end user: a time series analyst who may have to intervene with a particular time series and perform some manual manipulation of the modelling process. Assistance for this end user must, accordingly, be based on knowledge of the time series domain.

Encoding domain knowledge

By taking away many of the complicating considerations such as user and back end interaction, the problem solver has permitted the domain knowledge to be encoded in a declarative and natural manner. The following is an extract from the domain program which clearly defines how a forecast is obtained.

```
Forecast: time series (Data).
    tentative-model-identification (Data, Identifiers),
    estimate-parameters (Data, Identifiers, Model,
    Diagnostics)
    check-model (Data, Identifiers, Diagnostics, Model,
    Checked-Model)
    forecast (Data, Identifiers, Checked-Model, Fore-
    casts)
```

In terms of the encoding, it is irrelevant where the information comes from to satisfy each of the PROLOG goals. Table 1 shows the resulting information flow generated by the above definition of a forecast.

Back ends and BEM

The back end subsystem consists of three separate modules: Idaut (a FORTRAN program which performs the automatic identification of a tentative model given a time series), SCA (used for the estimation of model parameters and obtaining diagnostic information), and GENSTAT (used for data exploration and manipulation and forecasting). Idaut is used in a 'batch' mode, while SCA and GENSTAT are used interactively.

```
task (estimate-parameters (Data Identifiers, Model,
Diagnostics)):
  action-engine (specify-model      % action name
    [Data, Identifiers],            % input parameter
    [Model],                        % out parameters
    SCA],                           % backend package
  action-engine (get-diagnostics,   % action name
    [Model],                        % input parameters
    [Diagnostics],                  % output parameters
    SCA).                           % back end package
```

The above listing illustrates how a back end independent information request, or task from the knowledge based module, is mapped into a back-end specific (in this case SCA) set of actions. The action engine then executes both 'specify-model' and 'get-diagnostics' using TPL and XTI. (Prat *et al.*, 1990) to generate the input and extract the appropriate output in order to instantiate 'model' and 'diagnostics'.

CONCLUSIONS

The forecasting KBFE described has provided a very useful testbed for the FOCUS architecture and has in principle vindicated the usefulness of the idea of interface separability. It has provided useful input to both tool developers and the developers of KBFE design methodologies. It will be further developed to take advantage of the new tools and techniques coming from the FOCUS project to include more sophisticated diagnostic checking and intervention analysis.

Two main issues have arisen in the development of this prototype. Firstly, the components of the architecture whilst providing a powerful presentation mechanism for the end user have not yet addressed sufficiently their interface to the KBFE developer. More effort is needed to develop them into a suitable KBFE development environment. Secondly, whilst providing the end user with the ability to control his her presentation, by presenting interaction objects which can be moved, resized, scrolled etc., it still remains unclear as to what extent control of the presentation needs to be retained in some way so that users do not build themselves a screen that is overloaded with such interaction objects.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been partially funded by the EC through ESPRIT II (Project 2620) and by the CICYT (Spanish Government) (TIC 880643). Ernest Edmonds provided valuable comments on an early draft of the paper.

REFERENCES

Box, G. E. P. and Jenkins, G. M. (1976) *Time Series Analysis; Forecasting and Control* Holden Day

Clark, K. L. and McCabe, F. G. (1982) 'PROLOG: a language for implementing expert systems' Machine Intelligence Vol 10 pp 455–470

Cosmadopoulos, Y. and Southwick, R. W. (1989) 'Using meta-level information for expert systems control: a 'blending' transformer approach' *in Research and Development in Expert Systems VI* Shadbolt, N. (Ed.) Cambridge University Press pp 54–65

Edmonds, E.A. (Ed.) (1992) *The Separable User Interface* Academic Press

Edmonds, E. A., Murray, B. S., Ghazikhanian, J. and Heggie, S. P. (1992) 'The re-use and integration of existing software: a central role for the intelligent user interface' People and Computers VII. Proceedings of the BCS HCI '92 Conference, York, Cambridge University Press

Edmonds, E. A. and McDaid, E. (1990) 'An architecture for knowledge-base front ends' Knowledge-Based Systems Vol 3 No 4 pp 221–224

Green, M. (1985) 'Report on dialogue specification tools' *in* Pfaff, G. E. (Ed.) *User Interface Management Systems* Springer-Verlag pp 9–20

Hammond, P. (1982) 'APES: a user manual' Technical Report 82/9, Department of Computing, Imperial College, London, UK

Nelder, J. A. and Wolstenholme, D. E. (1986) 'A Front End for GLIM' Computer Science and Statistics: Proceedings of the 18th Symposium on the Interface

Pfaff, G. E. (Ed.) (1985) 'User interface management systems' Proc. Workshop on User Interface Management Systems (1983)

Prat, A., Catot, J. M., Lores, J. and Fletcher, P. (1990) 'The back-end manager – an interface between a knowledge based front end and its applications subsystems' Knowledge-Based Systems Vol 3 No 4 pp 225–229

BIBLIOGRAPHY

Edmonds, E., McDaid, E., Prat, A., Fletcher, P. and Lorés, J. (1990) 'Systems architecture and KBFE back-end interface specifications' FOCUS LUTCHI UPC 5 4.1-C (Internal Esprit Report)

NAG Fortran Library Manual (1990) NAG Limited, Oxford, UK

Prat, A., Ginebra, J., Catot, J. M. (1989) 'Expert system for forecasting' Proceedings of Development of Statistical Expert Systems, Eurostat News, pp 342–347

Prat, A. M. and Catot, J. M. (1985) 'Incorporating expertise in time series modelling: the STATXPS system' Statistical Software Newsletter Vol 11 (Aug) pp 55–62

Southwick, R. W. (1990) 'A reason maintenance system for backward reasoning systems' Proc. 5th International Symposium on Methodologies for Intelligent Systems, Knoxville, Tennessee, USA pp 102–109

ALGUNES REFLEXIONS AL VOLTANT DE L'ESTADÍSTICA

Albert Prat Bartés
Departament d'Estadística i Investigació Operativa

1. INTRODUCCIÓ

Poques àrees del coneixement científic desperten tantes passions com l'estadística. La nostra disciplina és objecte de grans elogis per les seves contribucions a l'avenç científic i tècnic de la humanitat i, a la vegada, és una de les ciències més ridiculitzades en els mitjans de comunicació.

Per entendre els elogis, només cal repassar els nou volums de la "*Encyclopedia* of *Statistical Sciences*" (1982), editada per Kotz and Johnson, i veure els camps en què l'Estadística ha fet contribucions importants. Hi hem trobat els camps següents: assegurances, agricultura, veterinària, antropologia, arqueologia, auditoria, cristal·lografia, demografia, estomatologia, ecologia, econometria, ciències de l'educació, prediccions electorals, enginyeria, epidemiologia, finances, pesqueries, teoria dels jocs, genètica, geografia, geologia, història, genoma humà, hidrologia, indústria, temes legals, lingüística, literatura, gestió, màrqueting, diagnòstic mèdic, meteorologia, oftalmologia, farmacologia, física, ciències polítiques, psicologia, control de qualitat, sociologia, enquestes i modificació climàtica.

Per entendre les crítiques, segurament hauríem de tenir en compte els aspectes següents:

a) els mals usos que, conscientment o inconscientment, es fan de l'Estadística i que acostumen a tenir ressò en els mitjans de comunicació, i

b) la manera com s'ha ensenyat l'estadística dins de la universitat als futurs usuaris (metges, biòlegs, psicòlegs, enginyers, etc).

De la mateixa manera que els entesos en teoria de la comunicació asseguren que les males notícies "venen" més que les bones, podríem dir que alguns "abusos" de l'Estadística han tingut molt més impacte sobre el públic que la munió de bones aplicacions d'aquesta ciència en nombrosos camps de l'activitat humana.

Crec que una de les tasques dels professionals de l'Estadística i, per tant, dels nostres estudiants en un futur proper, és la de saber explicar al gran públic els punts forts de la nostra disciplina, com també conèixer les causes dels punts febles com a primer pas per eliminar-los o reduir-ne els seus efectes. A aquest últim aspecte dediquem l'apartat següent.

2. PUNTS FEBLES

La mala imatge que té l'Estadística per a un ampli sector de la població pot venir reflectida des de definicions cíniques com la següent: l'Estadística és aquella ciència que demostra que si jo menjo dos pollastres i tu cap, ambdós ens mengem un pollastre "per càpita", fins a la col·lecció de casos presentats per Huff (1954) sota l'expressiu títol de "*How to lie with Statistics*", passant pels mals records de molta gent per la manera com se'ls hi va transmetre l'Estadística quan eren estudiants.

¿Quines són les causes d'aquesta mala imatge?

En una societat com la nostra, és clar que els mitjans de comunicació de masses, i especialment, en la televisió, són el lloc on s'originen les opinions i les imatges que es forma la gent sobre diferents realitats.

La utilització tendenciosa que es fa de les dades, agafant-ne la part que interessa per justificar alguna posició personal o de grup, i que fa que sobre un mateix fenomen s'aportin dades totalment discrepants, és una de les causes de desorientació del gran públic respecte al valor de la recollida i l'anàlisi de dades estadístiques. Si a més a més tenim en compte que, per exemple, una lleugera modificació en la definició de "persona aturada" pot modificar sensiblement les sèries temporals d'evolució de l'atur, i que dins dels programes d'educació primària i secundària no s'inclou de manera efectiva una certa cultura estadística, entendrem que el gran públic desconfiï de la seva utilitat. Però deixem aquest aspecte, certament important, i reflexionem sobre l'impacte que tenen en els mitjans de comunicació alguns mals usos de l'Estadística.

En un article de primera pàgina al Washington Post, Gladwell (1991) es feia ressò d'una carta publicada per Halpern and Coren (1991), on es deia que es disposava de dades que demostraven que els esquerrans vivien gairebé 10 anys menys que els dretans i els ambidextres. A més a més, la notícia es va difondre a través del Washington Post News

Service i va ser recollida per altres mitjans de comunicació. Sembla clar l'impacte que la notícia devia tenir sobre els esquerrans.

El problema estava en el fet que a començaments de segle era pràctica comuna entrenar a ser dretana la persona que biològicament naixia esquerrana. Aquest entrenament, sovint acompanyat de violència, va desaparèixer progressivament. Les dades de l'estudi s'havien recollit de la manera següent: es demanava a les famílies i/o amics de les persones que havien mort recentment si aquestes havien estat dretanes o esquerranes. Per a qualsevol professional de l'Estadística hauria estat clar que l'estudi estava mal plantejat, ja que, a causa de l'educació rebuda, el grup d'estudiants esquerrans era més jove que el de dretans i/o mixtes i, per tant, no es podia observar la mort a edat elevada dins d'aquest grup més jove.
Dos anys més tard, Salive, Guralnik i Glynn (1993) van presentar un estudi fet de manera correcta i que contradeia les conclusions de l'anterior, però, com era d'esperar, va rebre poca atenció de la premsa.

Podríem presentar moltíssims exemples semblants. El problema sempre és el mateix, suposar que qualsevol investigador competent en un cert domini posseeix o pot adquirir fàcilment les habilitats estadístiques necessàries per a una adequada recollida de dades i la seva transformació en informació. El fet que aquesta suposició no sigui correcta, almenys de manera general, està en la base dels mals usos de l'Estadística.

Un altre fenomen que molts dels meus amics estadístics de professió i jo mateix hem experimentat amb freqüència és el fet que quan algú ens pregunta a què ens dediquem i li diem que som estadístics, aleshores la majoria de les persones que han estudiat la nostra disciplina a la universitat manifesten el seu ensurt i el seu mal record de la manera com se'ls va ensenyar. En comptes de reconèixer la importància de la metodologia per a la recollida i l'anàlisi de dades, només recorden un munt de desenvolupaments matemàtics inintel·ligibles, i els més afortunats en recorden alguna aplicació probabilística. En aquest tema crec molt important identificar els dos col·lectius més importants dins del que podríem anomenar estadístics professionals.
En primer lloc hi ha els estadístics acadèmics que, en principi, tenen com un dels seus objectius i responsabilitats, la creació de teories i metodologies estadístiques. Són les persones que en general tindran un Doctorat en Estadística, una sòlida formació matemàtica i que haurien de tenir una gran experiència en la resolució de problemes de la vida real. Aquestes persones desenvolupen la seva vida professional en centres universitaris o similars i formen un col·lectiu ben definit. La importància d'aquest col·lectiu es pot entendre si es té

en compte que l'any 1984 es varen publicar, a tot el món, més de 8.000 articles científics que estan ressenyats, per exemple, al *Current Index to Statistics*, i més de 200 llibres sobre teoria i pràctica de l'Estadística.

D'altra banda, tenim els usuaris de l'Estadística, és a dir les persones que es dediquen laboralment a extreure informació de les dades i, almenys amb la mateixa importància, a planificar la recollida de dades informatives. Dins d'aquest segon col·lectiu hi ha, al nostre país, dos subconjunts de persones ben diferenciats: els diplomats en Estadística i alguns Llicenciats en Matemàtiques d'una part, i de l'altra, els enginyers, metges, psicòlegs i altres titulats que utilitzen l'Estadística en el seu treball professional.
Considero molt important assenyalar que no és la funció principal d'aquests col·lectius d'usuaris el desenvolupament de noves teories i mètodes estadístics, però sí que ho és el fer-ne un ús correcte, ja sigui com a membre consultiu d'un equip interdisciplinari o en el treball personal. Aquest fet s'ha de reflectir necessàriament en els diferents plans d'estudis i, sobretot, en el contingut i els mètodes d'ensenyament de les diferents matèries estadístiques que en formen part. Un bon treball en aquesta direcció pot ser fonamental per eliminar almenys parcialment, els punts febles de la nostra disciplina.

3. L'ESTADÍSTICA COM A TECNOLOGIA DEL MÈTODE ESTADÍSTIC

Hi ha moltes definicions de l'Estadística. Una de les més adequades és aquella que la defineix com una ciència interdisciplinària en la qual l'objectiu bàsic és el disseny i la recollida de dades i la seva transformació en informació útil per a la presa de decisions en presència de variabilitat aleatòria.

Informació és la resposta a preguntes rellevants per a la presa de decisions. En general, la informació conté dades, mentre que les dades no sempre contenen informació. Un exemple pot ajudar a aclarir aquest important concepte. Suposem que s'han emmagatzemat en un ordinador, totes les notes de tots els exàmens dels estudiants d'un centre docent durant els darrers 15 anys. La quantitat de dades és notable, però no és clar que fos senzill contestar, per exemple, a la següent pregunta: Quants estudiants dels que van ingressar l'any 1987 acabaran els estudis al 1992 sense haver suspès cap assignatura? Quin percentatge dels estudiants que van ingressar l'any 1987 va abandonar els estudis?

Així doncs, la clau no està en quines dades s'han de recollir, sinó en com generar informació útil. La figura 1 il·lustra el procés de generació d'informació.

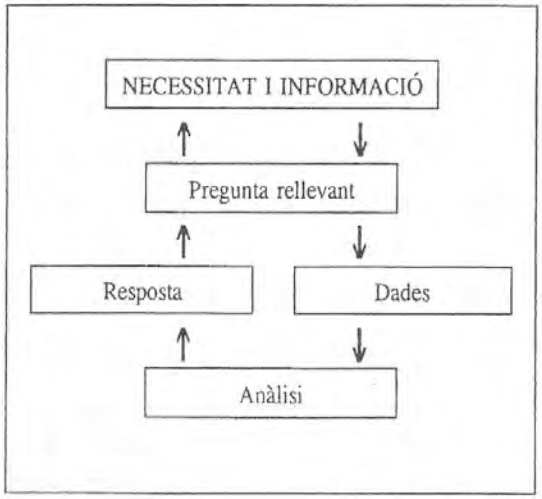


Fig. 1. Generació d'informació

La generació d'informació comença amb la formulació precisa de la pregunta que volem contestar. S'han de recollir les dades relacionades amb la pregunta, analitzar-les per determinar la resposta i presentar les dades de manera que contestin clarament la pregunta formulada.

L'Estadística pot entendre's també com la tecnologia del mètode científic. La figura 2 mostra l'esquema mitjançant el qual Box & Hunter & Hunter (1978) expliquen el procés continu de l'avenç del coneixement científic i tècnic.

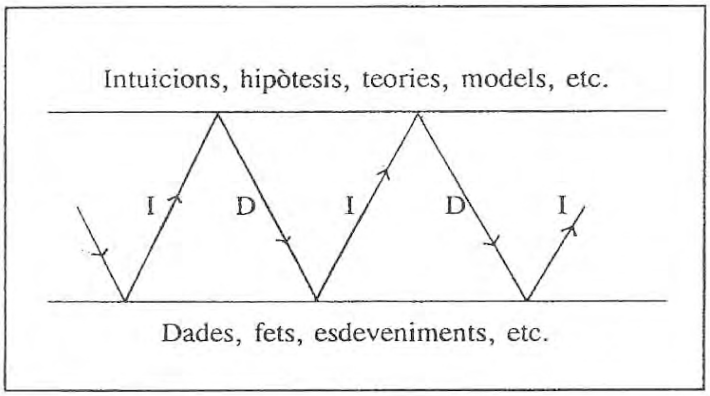


Fig. 2. El procés continu de l'avenç del coneixement

Les conseqüències lògiques (prediccions o deduccions) de les hipòtesis, teories o suposicions s'han de contrastar amb els fets (dades). D'aquesta comparació en sortiran, per un procés inductiu, noves teories o hipòtesis, les conseqüències científiques de les quals

hauran de ser confrontades amb noves dades en un procés que mai s'acaba. Atès que l'Estadística és la ciència especialitzada en la recollida de dades per contestar preguntes rellevants, s'entén que el seu paper és tant o més important com a mètode per crear hipòtesis que com a mètode per a fer-ne les proves clàssiques.

4. L'ESTADÍSTICA I LA QUALITAT TOTAL

No puc entrar en el detall de les diferents teories que existeixen sobre la gestió de la qualitat total i que estan desenvolupades en les obres de Deming (1982), Juran & Gryna (1980) i Ishikawa (1985), entre molts altres autors.

De tota manera, el que tenen en comú les teories d'aquests pensadors sobre la qualitat total és que aquesta es recolza sobre tres puntals: la cultura de la qualitat, els sistemes i recursos humans i la utilització de l'Estadística. Si en una organització falla algun d'aquests tres puntals, serà difícil, si no impossible, introduir-hi la gestió de qualitat total.

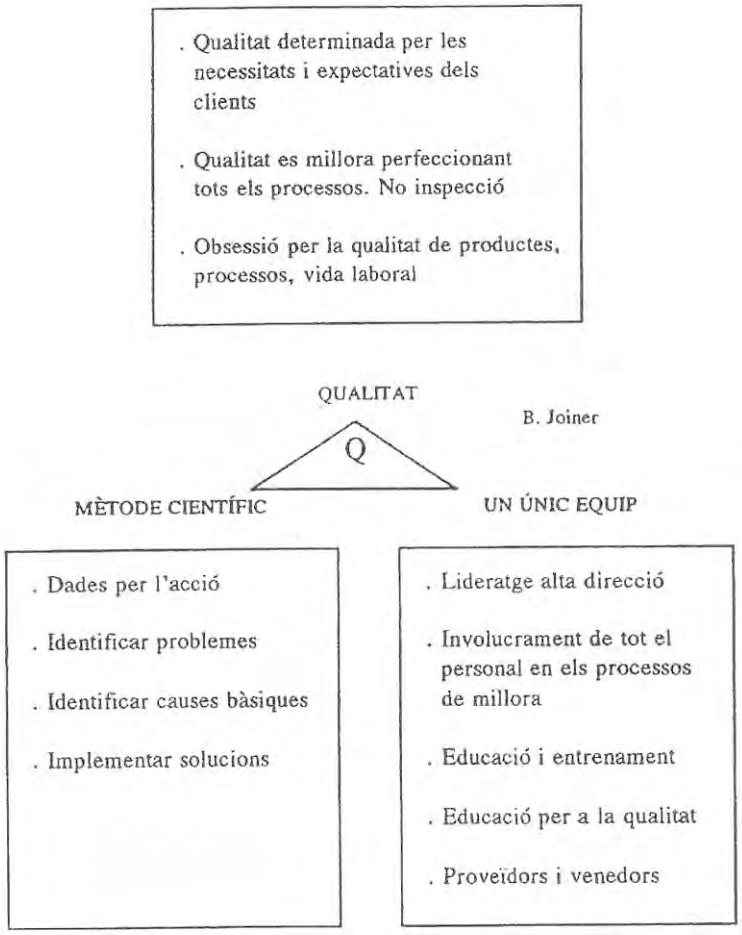


Fig. 3. La teoria Q

A la figura 3 es resumeix el que el consultor nord-americà Brian Joner anomena Teoria Q.

Un puntal essencial és la cultura de l'empresa respecte a la qualitat. Avui en dia és difícil trobar directius en les organitzacions que no diguin que per a ells la qualitat és el més important. Però per desgràcia, els fets no sempre concorden amb aquestes afirmacions. És bàsica la involucració dels propietaris o de l'alta direcció en la introducció de la cultura a les seves empreses.

Aquesta cultura comença pel reconeixement del fet que la qualitat ve definida per les necessitats i les expectatives del client i no per consideracions internes dels departaments de l'empresa. La idea fonamental és que els productes i els serveis han de complir les especificacions del client i, fins i tot, sorprendre'l amb prestacions en les quals ni tan sols havia pensat. És aquesta qualitat excitant (en la denominació de Kano, 1987) la que pot captar nous usuaris i ampliar la quota de mercat de l'organització que sigui capaç de fabricar aquest tipus de productes.

A més a més, quan es parla de client, s'ha de tenir en compte que ens referim tant al client extern o destinatari final dels productes i serveis, com al client intern. En aquest sentit és important tenir present que, tota unitat operativa dintre de l'empresa, es caracteritza perquè té proveïdors (el procés anterior), té clients (el procés següent) i realitza les operacions pròpies de la unitat. Qualsevol procés, doncs, ha d'intentar satisfer les expectatives del procés que el segueix (client intern) i, ... intentar no crear-li problemes o inconveniències.

Una altra idea bàsica en l'aspecte cultural de les organitzacions és que la qualitat es millora únicament millorant tots els processos de l'organització i no per mitjà de la inspecció o del control.

En resum, es tracta d'introduir a les empreses una veritable obsessió per la millora de la qualitat dels productes, dels processos, de les condicions de treball, pels petits detalls i, especialment, pel convenciment en aquests temes de l'alta direcció.

Un segon puntal és el constituït pels recursos humans i els sistemes organitzatius i de funcionament de l'organització. La millora constant de la qualitat és responsabilitat de tot el personal. De fet, podria dir-se que en qualsevol descripció de les funcions d'un lloc de treball hauria de figurar la de millorar-lo constantment.

A causa de l'elevat percentatge de components d'un producte final que es compren a proveïdors externs però que el client final associarà a l'empresa que posa el producte al mercat, s'ha imposat la idea de que és important associar als proveïdors en la responsabilitat de la millora de la qualitat. Aquesta idea, que en la versió de Deming, s'hauria de realitzar mitjançant la col·laboració entre el proveïdor i el comprador, en benefici mutu i en convenis a llarg i mitjà termini, no sempre s'aplica amb aquest enfocament i pot generar tensions importants entre les parts involucrades.

Els distribuïdors poden aportar informació rellevant sobre el comportament dels productes quan són en mans del client i, en conseqüència, aportar a l'empresa dades sobre les necessitats i les expectatives del mercat que haurien de ser satisfetes pels productes i serveis de l'organització.

Finalment, el tercer puntal el constitueix la utilització massiva del mètode científic i, més concretament l'Estadística.

El lector deu haver observat que hem subratllat la paraula massiva. En efecte, no es tracta que un percentatge reduït del personal utilitzi mètodes estadístics altament sofisticats, sinó que en tota l'organització s'utilitzin dades fiables per a la presa de decisions a tots els nivells. Com deia Bill Hunter: (1) Si una organització desitja millorar els seus nivells actuals de qualitat i productivitat, s'ha d'actuar, és a dir, prendre decisions; (2) per prendre decisions és necessari disposar d'una bona informació, i (3) l'Estadística és la disciplina especialitzada en la conversió de dades en informació.
D'aquest simple raonament es desprèn la importància del tercer puntal.

Creiem convenient insistir en la necessitat de l'existència dels tres puntals a tota organització que vulgui situar la qualitat en el centre de les seves activitats i que desitgi millorar la productivitat i els seus costos per l'únic camí real, que és la millora de la qualitat. Així, per exemple, de poc serviria que s'utilitzessin gràfics de control o dissenys d'experiments en una empresa on no existís la cultura necessària o que es volguessin solucionar els problemes de qualitat per mitjà de la introducció de cercles de qualitat sense que se sabessin utilitzar les eines estadístiques bàsiques i sense que l'alta direcció assumís la responsabilitat en la resolució dels problemes que només ella pogués abordar. És important insistir en aquesta idea, ja que aquesta xerrada es refereix exclusivament a mètodes estadístics i el lector podria deduir, equivocadament, que són només aquests mètodes els necessaris per millorar la qualitat dels productes i dels serveis d'una organització.

5. L'ESTADÍSTICA I LA PROBABILITAT

Sovint es considera l'Estadística com a una ciència matemàtica. Tant és així que en els codis de la UNESCO i altres sistemes internacionals, l'Estadística comença amb els dígits identificadors de les matemàtiques. És possible que aquesta confusió provingui del fet que, a les universitats anglosaxones, els primers departaments d'Estadística es constituïssin com a unitats separades dels departaments de matemàtiques en una època tan recent com els anys trenta, i que, encara avui en dia, molts estadístics estiguin integrats en departaments de matemàtica aplicada. Crec, de tota manera, que la causa fonamental del desconcert existent és que es confon l'Estadística amb la teoria de la probabilitat. Aquesta última, tal com es veu a la figura 4, sí que és una branca de la matemàtica que utilitza el mètode deductiu per deduir propietats d'algunes característiques de mostres aleatòries de poblacions conegudes.

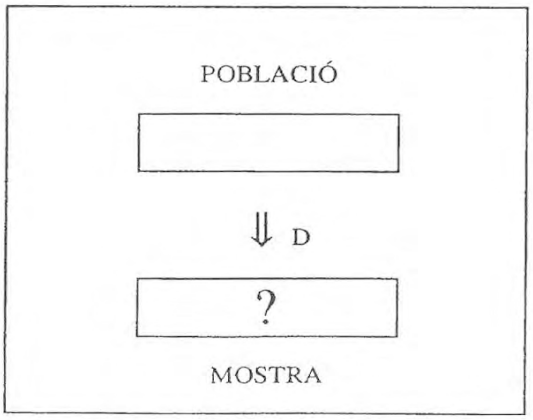


Fig. 4. Probabilitat

L'Estadística, en canvi, és un procés inductiu mitjançant el qual es fan prediccions o inferències sobre determinats aspectes d'una certa població a partir d'informació obtinguda en una mostra aleatòria d'aquesta, tal com s'indica a la figura 5.

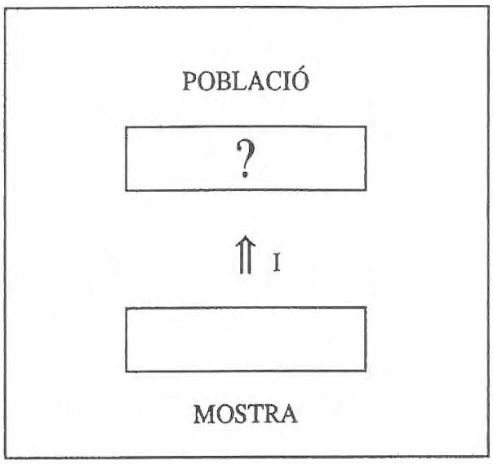


Fig. 5. Estadística

El que passa és que per quantificar el risc intrínsec en qualsevol inferència a partir d'informació incompleta i en presència de l'atzar, es fa un ús intens de la teoria de la probabilitat. També la física, per exemple, fa un ús intens de les matemàtiques i, en canvi, ningú se li acudeix considerar-la com una mateixa disciplina.

Així doncs, és important destacar el paper creatiu, generadors de nous coneixements, i útil per fer prediccions que té l'Estadística, sense perdre de vista la necessitat d'una bona base probabilística que la fonamenta.

6. CONCLUSIONS

Estem en una conjuntura mundial on l'Estadística pot tenir un paper fonamental en l'acceleració del coneixement científic i teòric de la humanitat i, per tant, en la millora potencial de la qualitat de vida en la humanitat. Cal, doncs, que els professionals d'aquesta disciplina, prenguin consciència dels veritables objectius de l'Estadística, del seu caràcter instrumental per crear nous coneixements, i que tractin d'evitar els mals usos que tant la poden desprestigiar.

REFERÈNCIES

- KOTZ, S.; JOHNSON N.L. (1982). Encyclopedia of Statistical Sciences. John Wiley, N.Y.
- HUFF, D. (1954). How to lie with Statistics. Norton, N.Y.
- GLADWELL, M. (1991). "Left-handers Die Younger, Study Says: Finding That Trend Cuts Lifespan 9 Years Draws. Surprise, Skepticism", The Washington Post, April 4, pg. A1.
- HALPERN, D.F., and COREN, S. (1991), "Handedness and Life Span", New England Journal of Medicine, 324, 998.
- SALIVE, M.E., GURALNIK, J.M., and GLYNN, R.J. (1993). "Left-Handedness and Mortality". American Journal of Public Health, 83, p. 265-267.
- BOXM G.E.P; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. (1978). Statistics for Experiments, John Wiley, N.Y., p. 2.
- DEMING, W.E. (1986), Out of the Crisis, M.I.T. Center for Advanced Engineenry Studies.
- JURAN, J.M., and GRYNA, F.M. (1980). Quality Planning and Analysis. 2 Ed. Mc. Graw-Hill, N.Y.
- ISHIKAWA, K. (1985). What is Total Quality Control. The Japanese way. Prentice-Hall. N.J.
- KANO, N. (1987). TGC a Total Quality Creation ICGC. Tokyo.

20

A Bivariate Plot Useful in Selecting a Robust Design

Albert Prat and Pere Grima

Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain

Abstract: A sound engineering practice for improving quality and productivity is to design quality into products and processes. The ideas of G.Taguchi about parameter design were introduced in the US some ten years ago. Despite some strong controversy about some aspects of it, they play a vital role in the concept of robustness in the design of industrial products and processes. In this paper, we present a new methodology for designing products and processes that are robust to variations in environmental or internal variables. First, a tentative model for the response as a function of the design and noise factors is assumed. This model is then estimated using a single design matrix and the expected value and variance of the response are calculated over the space of the design factors. Finally, the best setting of the parameters values can be located in a newly developed bivariate plot where the distance to the target is plotted against the variance of the response.

Keywords and phrases: Design of experiments, distance-variance plot, quality improvement, robust product, variation reduction

20.1 Introduction

Faced with the old view of quality control by means of final inspection or the classical one of Statistical Process Control, we can designate as the modern method one that guarantees better economy and quality of a product. This would apply to the design of products such that their features are maintained at a desired level despite adverse factors in their production and utilization.

These products are said to be robust. In this paper, we present a new methodology for the selection of values for the parameters used in the design

of robust products.

20.2 Background

Techniques for the robust design of products were first introduced in Japan by the engineer Genichi Taguchi (1984, 1986). The method bearing his name is well known and has been used widely. One of the steps involved in using the Taguchi method is the selection of design factors (parameters). This in essence consists of setting up a plan of experimentation where the value of some quality characteristic (response) is measured for a known combination of design factor values and also the so-called noise factors (that influence the response but cannot be easily controlled at a fixed value). From the results obtained during experimentation, one can determine the set of values for the design factors that elicit satisfactory values of the response, independent of the values taken by noise factors.

The method proposed by Taguchi for obtaining the optimal design factor value is through the use of product matrices in the design of the experimental plan and the utilization of signal-to-noise ratios in the analysis of the results [See Hunter (1985), Kacker (1985), Ross (1988), Taguchi and Phadke (1984)].

Despite being well-received, the contributions of Taguchi towards product design have some controversial aspects. Although in some cases the number of experiments that one plans to carry out is justifiably necessary for obtaining precise information, in most other cases, experimenting on each of the conditions of the product matrix would require an effort and dedication of resources that may be unnecessary and therefore could be reduced. [Shoemaker et al. (1991)]. Also the statistics and the associated procedures used are not very intuitive. It has been demonstrated [Box and Fung (1986)] that the statistical techniques used for analyzing the results obtained are not very adequate. For related discussion see also Kacker et al. (1991), Maghsoodloo (1990) and Tort-Martorell (1985).

20.3 Description of the Problem

We consider 3 types of variables that influence the quality characteristics of a product:

i) Those corresponding to parameters related to the design of the product, whose values are maintained constant at the desired levels. This type of variables is known as "constant design factors" or, simply, "design factors".

ii) Those outside the design of the product that show a certain variability around their average value. Typical examples of this type of variables are: the ambient temperature, the degree of humidity, the voltage of the electricity supply, etc. These variables are known as "external noise factors".

iii) The variables corresponding to parameters related to the design of the product (as in type i), whose nominal value can be selected by the designer. In practice, however, they show a certain variability around the value selected. An example of this type of variable is the value of the resistance that is placed in a circuit: the designer chooses its value, for example 10 Ω, but in practice it will not be exactly 10, but between 9.5 and 10.5 Ω. These variables are known as "design factors affected by internal noise" or simply "internal noise factors".

In the design of a product it will not always be necessary to consider the two types of noise factors. In some cases the external noise factors will suffice, and it is possible to consider all the design factors as constant. In others, it will be sufficient to consider solely the variability of some design factors.

The issue that we wish to addess is the determination of the nominal values of the design factors so that: 1) the response shows minimum variability around its average value, neutralizing as far as possible the variability transmitted by the noise factors and, 2) the average value of the response is as near as possible to its objective value. For solving this problem we outline below a 4-stage methodology in which it is assumed that the functional relationship linking response with the factors that influence it is not known, and it is therefore necessary to deduce an approximation experimentally. If this relationship is known, stages i) and ii) should be skipped, since they attempt to find an approximation to the unknown functional relationship.

20.4 Proposed Methodology

The proposed methodology is based on the concepts developed by G. Taguchi (1984, 1986) for the design of robust products, and on later analysis and proposals on this subject, especially the ones by Box and Jones (1990). It consists of the following steps:

i) Assume a tentative model for the response.

ii) Estimate the model parameters by running a factorial or fractional factorial design. If the model is quadratic, a central composite design is used.

iii) Analyze the estimated model, deducing the expressions for the variance and the expected value of the response.

iv) Calculate the expected value and the variance of the response for a large set of combinations of design factor values. Draw a bivariate plot of the optimal distance to the target versus the variance of the response and obtain the optimum combination of values for the design factors.

The use of a spreadsheet program (on a PC) facilitates the calculations and the plotting of the data. Short descriptions of the steps mentioned above are given in the next sections.

20.4.1 Hypothesis about the model for the response

The objective is to establish a hypothesis about the existing relation between the response and the factors (design factors, and noise factors) which must satisfy the following requirements: i) Explain satisfactorily the behaviour of the response, and ii) Facilitate easy estimation of the parameters and the subsequent analysis. Below we discuss 2 typical cases:

1. The noise factors are exclusively of the "external noise" type: in this case, the transmission of variability of the noise factors to the response can be neutralized (as far as possible) using the interaction of the noise factors with the design factors (Figure 20.1). Thus it is sufficient to use models of the type:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^{n} \beta_{ik} x_i x_k + \sum_{j=1}^{m} \gamma_j z_j + \sum_{j=1}^{m-1} \sum_{l=j+1}^{m} \gamma_{jl} z_j z_l + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \delta_{ij} x_i z_j + \varepsilon \qquad (20.1)$$

where y: response, x_i: design factors (constants), z_i: noise factors (random variables) and ε: not explained by the model.

2. The noise factors are exclusively of the internal type: In this case, the transmission of variability to the response can be reduced through the mutual interactions of the design factors, but also by using the possible non-linear relationship between the factors affected by variability and the response (Figure 20.2). In this case, it is advantageous to use models of the type:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^{k} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \qquad (20.2)$$

where $x_1, \ldots, x_k$ represent design factors affected by internal noise. See Box and Jones (1990) and Jones (1990) for a detailed discussion on this area.

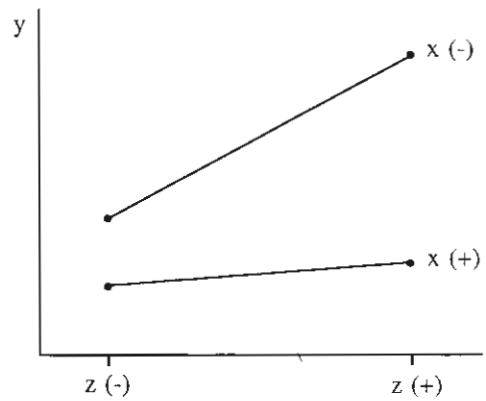


Figure 20.1: The interaction of x with z allows us to choose the values of x (in this case it will be the one coded with '+') which reduces the effect of the variability of z

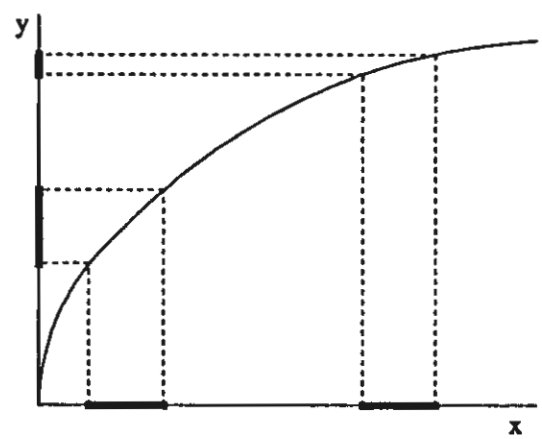


Figure 20.2: The quadratic relation between x and y allows us to reduce the transmission of variability to y by choosing the right values of x (in this case, the greatest possible value)

20.4.2 Estimation of the model parameters

The model parameters can be estimated by running a fractional design. If the model is of first order, a design with 2 levels will be sufficient, but if it is quadratic, it would be necessary to use a central composite design [Box and Draper (1987) and Myers (1976)] or a three level design. In either case, the experimental conditions are formulated throughout using only one design matrix, that we will call a combined matrix, which includes both the control factors and the noise factors. This set-up allows for greater flexibility over the Taguchi product matrix for the estimation of the important effects without confounding. The following example shows this advantage.

Example 1. Let us assume that we have 3 design factors A, B, C and 3 external noise factors O, P and Q. One possible combined matrix is the one that has as generators: $C = AB$ for the inner orthogonal array, and $Q = OP$ for the outer orthogonal array, giving the following defining relation:

$$I = ABC = OPQ = ABCOPQ$$

that corresponds to a fourth of a fraction of a complete factorial design of 2^6 and requires the same number of runs as in the product matrix of Taguchi. From the last defining relation we can see that the main effects cannot be estimated unless we assume that all two factor interactions as non significant. If this assumption cannot be made but we need to estimate the main effects, then the number of experiments required in a Taguchi product matrix is much larger.

However, a combined matrix with the following generators: $P = ABC$ and $Q = BCO$, leads to:

$$I = ABCO = BCOQ = APOQ$$

and consequently we can estimate all the main effects free of two factor interactions. This feature is especially useful when it is not required to estimate all the model parameters. For instance, if we are only interested in minimizing the response variance, all that is required is to estimate the effects of noise factors and the interactions with the control factors. This will be explained in more detail in the next section.

Shoemaker et al. (1989) and Box and Jones (1990) have discussed in detail the advantages of the combined matrix. They also proposed the possibility of using special designs like Addelman or Box-Behnken type designs.

20.4.3 Model analysis: Response variance and expected value

First order models, with only external noise factors

This is a model of the type shown in equation (20.1) and minimising the variability of the response is achieved by minimising the following expression:

$$V(y) = \sum_{j=1}^{m}\left(\gamma_j + \sum_{i=1}^{n}\delta_{ij}x_i\right)^2 V(z_j) + \sum_{j=1}^{m-1}\sum_{l=j+1}^{m}\gamma_{jl}^2 V(z_j z_l) + V(\varepsilon)$$

Considering that ε is independent of any factor, and that all factors included in the model have been previously coded to have values between -1 and $+1$, and making the hypothesis that the factors that can't be controlled (z) have a uniform distribution in that interval, we get the following expression:

$$V(y) = \frac{1}{3}\sum_{j=1}^{m}\left(\gamma_j + \sum_{i=1}^{n}\delta_{ij}x_i\right)^2 + \frac{1}{9}\sum_{j=1}^{m-1}\sum_{l=j+1}^{m}\gamma_{jl}^2 + V(\varepsilon) \qquad (20.3)$$

Example 2. Let us assume that we want to minimise the variability of a quality characteristic (response) that can be expressed by the following model:

$$y = 11 + 2x - 1.5z + 3xz$$

In this case, we have to minimise the following expression:

$$V(y) = (-1.5 + 3x)^2 V(z)$$

The value of x that minimises $V(y)$ is $x = 0.5$.

Example 3. Consider the following model:

$$y = 15 - 5x_1 + 3x_2 - z_1 + z_2 + 2x_1x_2 - 2z_1z_2 + 2.5x_1z_1 + 2.5x_1z_2 + 2x_2z_1 - x_2z_2$$

To minimise the variability of y, we need to minimise the following expression:

$$\begin{aligned} V(y) &= (-1 + 2.5x_1 + 2x_2)^2 V(z_1) + (1 + 2.5x_1 - x_2)^2 V(z_2) + 4V(z_1z_2) \\ &= (1/3)[(-1 + 2.5x_1 + 2x_2)^2 + (1 + 2.5x_1 - x_2)^2 + 4/9 \end{aligned}$$

Setting the derivatives of $V(y)$ with respect to x_1 and x_2 to zero we obtain: $x_1 = -0.13$ and $x_2 = 0.67$. These will be the optimal values of x_1 and x_2 because any other pair of values would produce a greater variability in the response y.

In the previous examples, the values of the controllable factors which minimise the variability of the response were found. But this was done without taking into account the mean value of the response. However, the response will have an optimal value (that we shall call τ). We will also be interested in

minimising the distance between the mean value of the response and its optimal value. Therefore, we have to minimise the following expression:

$$\tau - E(y) = \tau - \beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^{n} \beta_{ik} x_i x_k$$

where: $E(\varepsilon) = 0$ and $E(z_i) = 0$.

Example 4. Given the simple model in Example 2:

$$y = 11 + 2x - 1.5z + 3xz$$

we want to minimise the distance between the mean value of the response and its optimal value (assuming a value of $\tau = 10$). For this we should find the value of x that minimises (for absolute values) the following expression:

$$D(\tau) = 10 - 11 - 2x$$

It can be easily seen that the optimal value of x is -0.5 because for this value we obtain $D(\tau, \underline{x}) = 0$.

In general, the distance to the optimum will be:

$$D(\tau, \underline{x}) = \tau - E(y) \tag{20.4}$$

Second order models, with only internal noise factors

In this case the model corresponds to the type shown in equation (20.2) and hence we have:

$$V(y) = V\left(\beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^{k} \beta_{ij} x_i x_j\right) + V(\varepsilon)$$

When there is only one design factor, a linear approximation of the variation transmitted to the response takes the form:

$$V(y) = V(x)(dy/dx)^2 + V(\varepsilon)$$

In general, with k design factors we obtain:

$$V(y) = \sum_{i=1}^{k} V(x_i)(\partial f/\partial x_i)^2 + V(\varepsilon) \tag{20.5}$$

where the value of $V(\varepsilon)$ may be ignored as it only adds a constant to $V(y)$, and does not affect the conclusions obtained.

Since $E(\varepsilon) = 0$ and the x_i (design factors) can be considered random variables independent of ε, with a distribution: $x_i \sim N(\mu_i, \sigma_i)$, the mathematical expectation for y at any defined point is:

$$E(y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i E(x_i) + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} E(x_i^2) + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^{k} \beta_{ij} E(x_i) E(x_j) \ ,$$

and:

$$E(x^2) = V(x) + E^2(x) \ .$$

Then:

$$E(y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i E(x_i) + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} Var(x_i) + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} E(x_i)^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^{k} \beta_{ij} E(x_i) E(x_j)$$

20.4.4 Choosing the optimum values for design factors: the distance-variance plot

As shown previously, the value that minimises the response variability is different from the one that minimises its distance to the optimum.

There is no general rule that can facilitate the selection of an optimal value for $\underline{x}$, because in some cases we would like to minimise the response variability even if there is a large distance to the target and in other cases do the reverse.

Looking at the model used in examples 2 and 4, a way of selecting the value of x consists of first calculating the values of $E(y)$ and $V(y)$ for every possible value of the control factor. Then, on examination of the calculated values, it is possible to select the value of x that best fits the requirements of the designer.

A simple method that can be generalised for more complicated models for the selection of the optimal value of x, is given below. It is possible to calculate and display graphically all the relevant data by using any spreadsheet programme running on a PC. The steps involved are:

1. In column A of the spreadsheet, enter the values of x between the intervals -1 and $+1$ with increments of 0.1 (this increment could be reduced).

2. In column B, calculate the variance of the response for each value of x, using formula (20.3).

3. In column C, calculate the distance to the target using formula (20.5).

An illustration of the method is shown in Table 20.1. The model parameters and the optimal value for the response (τ) are entered in column G, so that if any of the data is changed, $V(y)$ and the distance to the target are automatically re-calculated.

From this spreadsheet tabulation, a bivariate plot of the distance to the target and the variance can be generated as shown in Figure 20.3. Note that

every data point plotted, corresponds to a value of x. From Figure 20.3, one can observe that there is a value of x for which the variance equals zero and the distance to the target is equal to one. There is also an x for which the distance equals zero and the variance equals 0.75. The plot in Figure 20.3 has all the information required in order to select the data point that corresponds to the values of the design factors that best fit the objectives of the designer.

The identification of which value of x corresponds to each one of the plotted data points is simple. In this case, it can be done by counting in increments of 0.1 from the data points that correspond to $x = -1$ and $x = +1$. In other cases, they can be estimated either from their coordinates or by using software packages such as STATGRAPHICS that allow for the identification of any characteristic of a plotted point by just placing the cursor on it.

Additionally, as shown above, this kind of plot can be used for any number of design factors and noise factors. Taking the model used in Example 3, there are two design factors that are both between the interval -1, $+1$ with an increment of 0.1. It is possible to have $21 \times 21 = 441$ combinations of these for which we can calculate the response variance and the distance to the optimum using the spreadsheet programme (see Table 20.2).

The distance-variance plot obtained from this computation is shown in Figure 20.4. From the figure we get $\tau = 24$. The plotted data point that corresponds to a minimum variance has been highlighted with a box around it and the values of x for this are $x_1 = -0.1$ and $x_2 = 0.6$.

20.5 Conclusions

The most important aspects of this method may be summarized in five points:

i. When the functional relationship between the response and the factors is not known it can be found through the experimentation using a single design matrix that includes both, noise and design factors. This provides sensible estimates of the effects and a reduction in the number of experiments [In agreement with the proposals of Shoemaker et al. (1991)].

ii. The proposed method does not include abstract concepts, and is easily understood, used and interpreted even by people with little knowledge of mathematics or statistics.

iii. The calculations are simple and a spreadsheet program for personal computers (e.g. LOTUS) is the only tool used in the application of this method.

iv. The information is presented as a graph (it is always a bivariate diagram) that clearly summarizes the information available in order to make the

most suitable decision in every different case.

v. The method is valid for the design of robust products subject to either internal or external noise.

Table 20.1: Spreadsheet calculation to obtain the values for variance and the distance to the target for examples 2 and 4

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	X	Var(Y)	Dist.					
2	−1	6.75	2			cte	11	
3	−0.9	5.88	1.8			x	2	
4	−0.8	5.07	1.6			z	−1.5	
5	−0.7	4.32	1.4			xz	3	
6	−0.6	3.63	1.2					
7	−0.5	3	1			tau	10	
8	−0.4	2.43	0.8					
9	−0.3	1.92	0.6					
10	−0.3	1.47	0.4					
11	−0.1	1.08	0.2					
12	0	0.75	0					
13	0.1	0.48	−0.2					
14	0.2	0.27	−0.4					
15	0.3	0.12	−0.6					
16	0.4	0.03	−0.8					
17	0.5	0	−1					
18	0.6	0.03	1.2					
19	0.7	0.12	−1.4					
20	0.8	0.27	-1.6					
21	0.9	0.48	1.8					
22	1	0.75	−2					

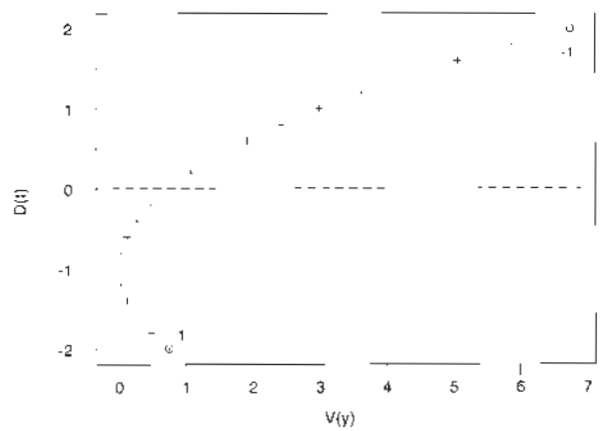


Figure 20.3: Distance-Variance plot for examples 2 and 4

Table 20.2: The first row of the table of values for the model in example 3

	A	B	C	D	E	F	G
1	$x1$	$x2$	$V(y)$	Dist.			
2	-1	-1	10.6	5		cte	15
3	-1	-0.9	9.9	4.9		$x1$	-5
4	-1	-0.8	9.3	4.8		$x2$	3
5	-1	-0.7	8.7	4.7		$z1$	-1
6	-1	-0.6	8.1	4.6		$z2$	1
7	-1	-0.5	7.5	4.5		$x1x2$	2
8	-1	-0.4	7.0	4.4		$z1z2$	-2
9	-1	-0.3	6.5	4.3		$x1z1$	2.5
10	-1	0.2	6.1	4.2		$x1z2$	2.5
11	-1	-0.1	5.7	4.1		$x2z1$	2
12	-1	0	5.3	4		$x2z2$	-1
13	-1	0.1	4.9	3.9			
14	-1	0.3	4.6	3.8		tau	24
15	-1	0.4	4.3	3.7			

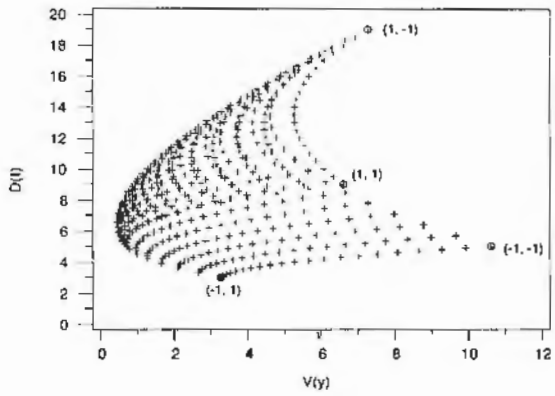


Figure 20.4: Distance-variance plot for example 3

References

1. Box, G. E. P., Hunter W. G. and Hunter J. S. (1978). *Statistics for experimenters*, New York: John Wiley.

2. Box, G. E. P. and Fung, C. A. (1986). Studies in quality improvement: minimizing transmitted variation by parametrer design, *Center for Quality and Productivity Improvement*, Report **8**, University of Wisconsin-Madison.

3. Box, G. E. P. and Draper N. R. (1987). *Empirical Model Building and Response Surfaces*, New York: John Wiley.

4. Box G. E. P. and Jones S. (1990). Designing products that are robust to the environment, *Center for Quality and Productivity Improvement*, Report **28**, University of Wisconsin-Madison.

5. Hunter, J. S. (1985). Statistical design applied to product design, *Journal of Quality Technology*, **17**, 210–221.

6. Jones, S. P. (1990). Designs for minimizing the effect of envirinmental variables, *Unpublished Ph.D. dissertation*, University of Wisconsin, Department of Statistics.

7. Kackar, R. N. (1985). Off-Line quality control, parametrer design, and the Taguchi method, *Journal of Quality Technology*, **17**, 176–188.

8. Kackar, R. N., Lagergren, E. S. and Filliben. J. J. (1991). Taguchi's fixed-element arrays are fractional factorials, *Journal of Quality Technology*, **23**, 107–115.

9. Maghsoodloo, S. (1990). The exact relation of Taguchi's signal-to-noise ratio to his quality loss function, *Journal of Quality Technology*, **22**, 57–67.

10. Myers, R. H. (1976). *Response surface methodology*, Boston: Allyn and Bacon, Inc.

11. Ross, P. J. (1988). *Taguchi techniques for quality engineering*, New York: McGraw-Hill.

12. Shoemaker, A. C., Tsui K. L. and Wu, C. F. J. (1991). Economical experimentation methods for robust design, *Technometrics*, **33**, 415–427.

13. Taguchi G. and Phadke M. S. (1984). Quality engineering through design optimization, *Presented at IEEE GLOBECOM, Atlanta.*

14. Taguchi, G. (1986). *Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes*, Tokyo: Asian Productivity Organization.

15. Taguchi, G., Elsayed, E. A. and Hsiang, T. (1989). *Quality engineering in production systems*, New York: McGraw-Hill.

16. Tort-Martorell, J. (1985). Diseños factoriales fraccionales, aplicación al control de calidad mediante el diseño de productos y procesos, *Unpublished Ph.D. dissertation*, Universitat Politècnica de Catalunya, Spain.

Time Series Modeling using Mobile Devices and Broadband Internet

Albert PRAT[1], Ignasi SOLÉ[1], David REMONDO[2], Daniel MARTINEZ[1] and Josep M. CATOT[1]

[1] Department of Statistics and Operational Research, UPC, Av. Diagonal 647, 08028 Barcelona, e-mail: albert.prat@upc.es
[2] I2CAT, Department of Telematics Engineering, UPC

Abstract. In this paper we present one application included in the Project @DAN, an AdvANced and high secure mobile platform to support the digital economy, that started on November 2001, and is financed by the *EU IST-2001-32634*.

This application will provide all types of services necessary to model and obtain forecasts of time series data by the professionals of any kind of organisations.

The user of this application will be able to obtain two different types of services: demand forecasts and consultancy using mobile terminals, broadband internet and internet payments.

The background system installed in a server, is FOREtess[+], which is an evolution of TESS (see Prat et al. (2000)).

Keywords: Forecasting, ARIMA models, Seasonal Adjustment, Smart Cards, UMTS, Internet2, Security.

1 Introduction to the @DAN project

The development of the new economy and the information society is being curbed due to both the insecurity that potential customers are feeling with regards to the communications and the lack of standards that could stimulate developments of this security.

@DAN, an aDvANced and high secure mobile platform to support the digital economy, seeks to remove these barriers in the mobile communications environment.

The main goals of the @DAN project can be summarised, but not limited to the following list:

[+] FOREtess is in process of being registered as a trademark by UPC.

Develop a secure mobile platform to support developments of m-commerce applications, specially these one pertaining to the field of the digital economy. Specifically, this platform will provide two basic functionalities: digital signature and secure payments based on a smart card. Each one of the components will be produced by a relevant expert in the field.

- ✓ The platform and related tools produced will be used for the development of two prototypes. These prototypes will shown a spectrum of functionalities that will prove the necessary capacities of the platform. The prototypes will be produced by two different universities which have showed in the past their skills in the subject.
- ✓ These two prototypes, will be tested and assessed by different industrial and services end users organizations. This assessment will be conducted by an SME that has interest in the commercialization of the results obtained.

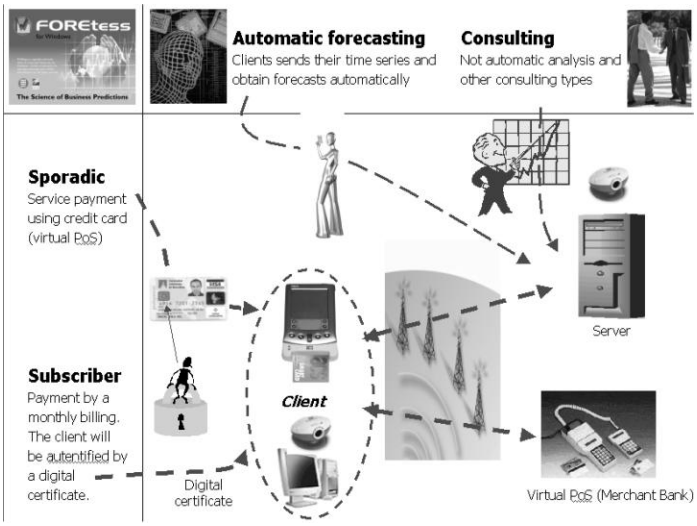
2 Architecture of the platform to be developed

The @DAN platform will provide two basic functionalities: digital signature and electronic secure payment based on a cryptographic smart card. A relevant expert in the field will produce each one of the components.

This platform will be based in three components:

- ✓ UMTS component (wideband), with possibilities to read a smart card
- ✓ Smart card (cryptographic features)
- ✓ Digital certificates (X509.v3 based)

The next figure shows the architecture of the platform applied to the times series prototype.:



In what follows, we will comment on the requirements for the communication infrastructure and then we will see what is proposed as a solution for both the wireless and the fixed parts.

3 Solution adopted for the first phase of the @DAN project

The technology initially considered in the project, UMTS, is a cellular technology that provides a maximum throughput between 384 Kbit/s and 2 Mbit/s, depending on the speed of the terminal. This maximum throughput has to be shared among all users within the cell. Provided that there are few users in the UMTS cell, this technology can indeed be expected to be sufficient for the support of the requirements.

However, due to the unavailability of systems with this technology to date, and the uncertain perspectives, it has been decided to employ alternative wireless access technologies to fulfill the main objectives of the project.

Therefore, we resort to Wireless Local Area Networks technology (WLANs). In particular, we consider the systems based on the standards IEEE 802.11b. This technology has some attractive characteristics: it is widespread in the market and therefore relatively economical, it does not require spectrum licenses and, as we will see, it complies with the requirements of the project.

IEEE 802.11b provides radio communication between terminals at a nominal throughput of 11 Mbit/s. The maximum range is about 150 meters.

4 Fixed infrastructure

I2CAT is an experimental Internet platform that combines telecom companies, content service providers, technology providers, universities, governmental institutions and final users. The goal of this platform is to develop and to test new generations of applications, network services, network protocols and technologies, testing the acceptance and the social impact of the new generation of Internet (IPv6) by the final user.

I2CAT is based on an optical broadband network that interconnects all members and end users at high-speed rates. All the network providers are connected to the Gigapop, that resides in the UPC, using several technologies like Gigabit Ethernet, PoS (Packet over Sonet) or ATM (1.2 Gbps/622 Mbps/155Mbps).

The @DAN project will use the I2CAT platform that provides interconnection between the project partners UPF, UPC, SECARTIS and Caixa de Catalunya with high speed links above 2Mbps using wired and wireless LAN technologies. At the same time, @DAN takes advantage of the multiple services deployed on the I2CAT platform as VoD, streaming video and videoconference based on MPEG 1 /2/4 and H.323 standards.

These @DAN partners are transparently interconnected with the TCP/IP suite over Ethernet wire and wireless access technologies offering an adequate network platform to deploy secure @DAN applications.

ADSL is a technology that makes it possible to employ the existing telephone wires to transport data at relatively high data rates. In this way, we can build an access network that reaches a large part of the population without the need of

installing new physical links. At this time, ADSL is being deployed commercially in Western European countries. With the commonly offered data rate of 256 Kbit/s downlink and 128 Kbit/s in the uplink we can expect ADSL to be suitable for our purposes. The client only needs to have a POTS (Plain Old Telephone Service) line, an ADSL modem and to contract the ADSL service from an operator.

5 Wireless terminals

The initial wireless terminals to be used in the project are Compaq iPAQ PDA´s. These handheld computers have the Pocket PC operating system and can host up to two PCMCIA cards. There are IEEE802.11b PCMCIA cards commercially available and we expect that GPRS PCMCIA cards will be available soon. Other features of these devices are a Web browser, a Java virtual machine and Jdk2.0 for Java applets and applications development

In a second phase, SIEMENS handsets will be used.

6 Time series prototype

One of the two prototypes developed to prove and validate @DAN platform is the UPC Time Series application.

Based on the @DAN platform, UPC will develop an application that will allow individual persons or members of any kind of organisation to obtain forecasts and other useful information from their time series database in an easy, fast, accurate and secure manner.

The system is being designed to allow for two different types of users:

- ✓ Sporadic users that from time to time will use the application to obtain forecasts of some time series of interest.
- ✓ Subscription paying users that either from a desktop computer or from a mobile device will use the application for time series modeling and forecasting or for receiving consultancy services.

It will perform a fairly complete statistical treatment of time series, be that in routine large-scale applications or, for example, in careful analysis for short-term economic policy, control and monitoring. Although other frequencies are possible, our attention centres mainly on monthly and quarterly series.

UPC application prototype will be accessible by using workstations, laptops and mobile devices, which have a web browser.

The web based application performs all its operations on server side, and the only difference between diverse client devices is the user interface, specially designed for each one of them.

7 Functionalities of the application

The next table shows the different functionalities depending on the specific type of terminal used to access the prototype (the use of a mobile device imposes some restrictions on the functionalities to be implemented in such a handheld PC):

FUNCTIONALITIES	Desktop computer	MOBILE DEVICE
SECURE CONECTION	YES	YES
USER AUTENTIFICATION	YES	YES
VIRTUAL TPV	YES	YES
NEW USER'S REGISTRATION	YES	NO
TIME SERIES AND USERS DATABASE	YES	YES
DOMAINS ORGANISATION	YES	YES
IMPORT EXCEL, ACCES, ASCII files,	YES	POCKET EXCEL FILES
CREATE NEW TIME SERIES AND DOMAINS	YES	YES
UPDATING TIME SERIES MANUALLY	YES	YES
AUTOMATICALLY TIME SERIES UPDATING	YES	NO
EXPORT RESULTS	YES	POCKET EXCEL FILES
POSSIBILITY OF IMPORT TIME SERIES FROM PRIVATE DATABASE (EXTERNAL)	YES	YES
MODELLING		
AUTOMATIC AND MANUAL UNIVARIATE MODELLING	YES	YES
INTERVENTION ANALYSIS	YES	YES
INTERVENTION DATABASE	YES	YES
TRANFER FUNCTION	YES	YES
FORECASTING	YES	YES
AUTOMATIC SYSTEM	YES	NO
SEASONAL ADJUSTMENT	YES	YES
TREND AND CYCLE ESTIMATION	YES	YES
CONFIGURATION OF BACKEND SOFTWARE	YES	YES
THE PROBLEM OF AGREGATION	YES	YES
CONTROL OF FORECAST ERRORS		
EWMA GRAPHIC	YES	YES
CUSUM GRAPHIC	YES	YES
GRAPHICS AND PLOTS	YES	LIMITED
CONSULTANCY (video, multimedia)	YES	LIMITED

Finally, other relevant characteristics of this prototype are:

- ✓ The system will be provided with secure connection and user's authentication by electronic signature system, and secure Internet payments.
- ✓ The system will offer an online help system and also access to a Time Series Course.
- ✓ Possibility to ask questions to an expert (videoconference, forum, e-mail list,…)

8 Technical requirements estimated at the server side

The technical requirements estimated at this moment for the hardware and software

to support the development at the server side are:

- ✓ Windows NT/2000 server
- ✓ Internet Information Server
- ✓ Scripting language installed (ASP, PHP, …)
- ✓ Database server (MySQL)
- ✓ Videoconference Server (Microsoft Exchange 2000 Videoconference Server)

9 Conclusions

Technology is moving quicker than ever before, especially mobile technology. Global usage of the mobile device will continue to grow at a high rate. In fact, it could be said that the developments in technology are racing ahead of our imagination's capability to deal with it.

The past three years have seen an outbreak in the number of wireless communication devices. The emergence of these mobile delivery channels - digital phones, personal digital assistants (PDAs), etc. - presents an opportunity for many communities, e.g., academic and scientific communities looking to increase their efficiency and easiness to access the data and tools they needs to use.

It is probably. unlikely that individuals are confident in the use of wireless access to Internet until the right security solutions exist to support them. These include the delivery of identification and authentication, content privacy and non-repudiation support to wireless networks that are currently available for wired networks via public-key infrastructure (PKI) technology.

@DAN will try to provide a platform for the development of these new solutions. @DAN time series modelling and forecasting prototype will demonstrate the advantages of this new technology.

References

Prat, A., Gomez, V., Sole, I., and Catot, J.(2000). *TESS: system for automatic seasonal adjustment and forecasting of time series*, Proceedings of Compstat 2000, Physica-Verlag, pp. 391-396.

Acknowledgements

@DAN is partially funded by IST Program and the CICYT (TYC 2001-4716-E)