

Documento de Trabajo 94-11
Serie de Estadística y Econometría 06
Septiembre 1994

Departamento de Estadística y Econometría
Universidad Carlos III de Madrid
Calle Madrid, 126
28903 Getafe (Spain)
Fax (341) 624-9849

LA ENSEÑANZA DE LOS PROCESOS ESTOCÁSTICOS EN INGENIERÍA E INFORMÁTICA

Rosario Romera Ayllón*

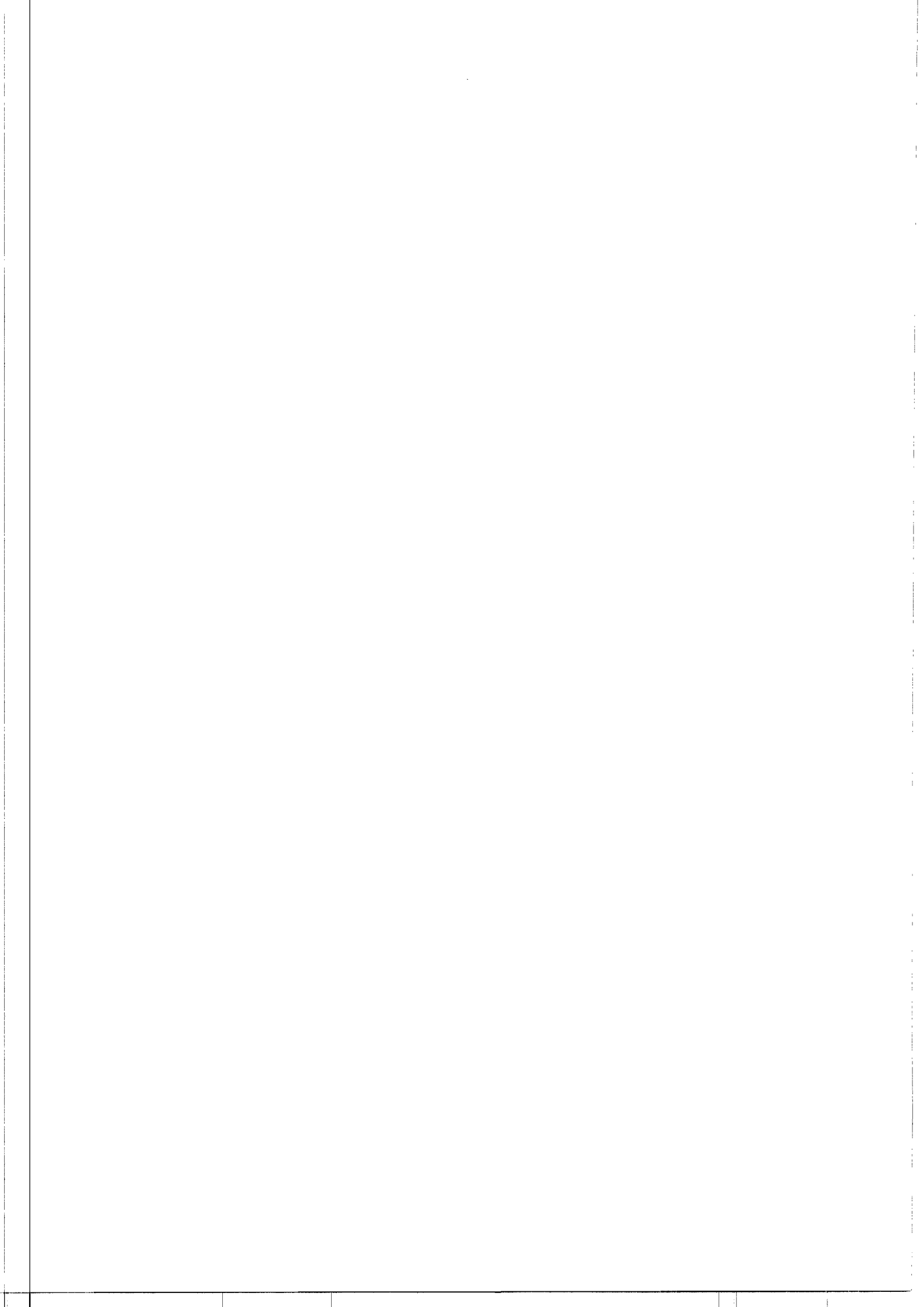
Resumen

Este trabajo analiza la ubicación curricular en materia de Procesos Estocásticos, en el marco de las recomendaciones internacionales para Ingeniería e Informática. Se presenta un diseño detallado de esta materia, idóneo para enseñanzas avanzadas en Electrónica, Telecomunicaciones e Informática.

Palabras clave

Diseño Curricular; Enseñanza de Ingeniería e Informática; Procesos Estocásticos.

*Departamento de Estadística y Econometría, Universidad Carlos III de Madrid.



LA ENSEÑANZA DE LOS PROCESOS ESTOCÁSTICOS

EN INGENIERÍA E INFORMÁTICA

Rosario Romera Ayllón

Universidad Carlos III de Madrid

Septiembre 1994

RESUMEN

Este trabajo analiza la ubicación curricular en materia de Procesos Estocásticos, en el marco de las recomendaciones internacionales para Ingeniería e Informática. Se presenta un diseño detallado de esta materia, idóneo para enseñanzas avanzadas en Electrónica, Telecomunicaciones e Informática.

1. INTRODUCCIÓN

El diseño curricular en Ingeniería e Informática en el comienzo de los años 90 ha despertado una nueva ola de interés, tal y como sucedió al inicio de la década precedente. La paulatina consolidación que el área de Computación ha experimentado, tanto como disciplina específica como en su papel de ayuda tecnológica a otras materias, ha replanteado su Enseñanza en relación con la experiencia acumulada en Ingeniería. La conveniencia de incidir sobre el carácter de Ingeniería de las enseñanzas de Computación, y potenciar al máximo la homologación en materias básicas, aparece como opinión generalizada al comenzar esta década. Textualmente en Parnas (1990) se afirma "Los graduados en Ciencias de la Computación deben retornar a las tentativas clásicas en Ingeniería que ponen su énfasis en los fundamentos más que en las últimas novedades". Es a partir de entonces cuando aparecen denominaciones de programas universitarios como de "Ingeniería Informática (o de Computación)". Este fenómeno tiene alcance internacional; ver ACM/IEEE-CS (1991).

Puntos de vista como la posible relación entre la recesión económica que afecta a países industrializados y la carencia de ingenieros, ver Bothorel (1992), avivan nuevamente la Educación en Ingeniería como fuente actual de debate.

Experiencias curriculares actuales en Ingeniería llevadas a cabo en países europeos, EEUU, Méjico y Japón se encuentran en los trabajos de Báez-López y Montero-Hernández (1993), Beccari (1993), Bothorel (1992), Filipiak y Pach (1992), Mesa, Savio y Sorba (1992) y Walker (1992). Una contribución interesante sobre las características del nuevo ingeniero en la sociedad y la adecuación de su preparación se presenta en Denning (1992); este trabajo tal y como reconoce el autor recoge influencias sobre aspectos no formales en el curriculum de ingeniería, inspiradas en las ideas relativas al concepto sociotécnico de la tecnología informática de Winograd y Flores (1988) y Flores (1992). Una réplica a Denning se presenta en Sáez Vacas (1992).

A pesar de la polémica siempre abierta entre generalismo y especialización como características definitorias del futuro ingeniero o informático, la experiencia recogida

en la pasadas décadas por el ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) de EEUU y otros comités europeos, ha llegado a establecer unas proporciones consideradas ya como estándar para curricula equilibrados en Ingeniería.

Las sociedades ACM (Association for Computing Machinery) e IEEE-Computer Society han venido emitiendo por otra parte, recomendaciones para titulaciones en Informática desde 1968 de forma independiente. En 1991 publicaron un informe curricular conjunto, fruto de dos años de trabajo CM-IEEE-CS 1991. Una de sus aportaciones más relevantes es la adopción de las especificaciones de Denning (1989) en lo relativo a las nueve áreas que configuran la Computación como Disciplina (Algoritmos y Estructura de Datos, Arquitectura, Inteligencia Artificial y Robótica, Bases de Datos y Recuperación de la Información, Comunicación Hombre-Máquina, Computación Numérica y Simbólica, Sistemas Operativos, Lenguajes de Programación y Metodología e Ingeniería del Software). La idea básica es que todo programa en Computación debe incluir contenidos de todas y cada una de estas áreas, para poderse considerar como Especialidad estructurada de Ingeniería. No obstante, la adhesión de los modelos curriculares dados en este informe a las directrices marcadas por el ABET es total, reafirmandose la tesis de unificación Ingeniería/Informática.

Centrándonos en los porcentajes establecidos por el ABET para programas en Ingeniería, la distribución entre los distintos contenidos resulta ser: Matemáticas y Ciencias Básicas (25%), Ciencias en la Ingeniería (25%), Diseño en Ingeniería (12,5%), Humanidades y Ciencias Sociales (12,5%) y Operativas (25%). Típicamente el bloque de Matemáticas comprende al menos cuatrimestres de Cálculo Diferencial e Integral, Algebra Lineal, Probabilidad y Estadística, y en el caso de la Computación, de Matemática Discreta y Lógica Matemática.

2. DISEÑO CURRICULAR Y PROCESOS ESTOCÁSTICOS

En la idea de poder precisar de una forma objetiva y actual la localización curricular más adecuada de la Enseñanza de Procesos Estocásticos se han revisado distintos

programas de Ingeniería e Informática en el ámbito internacional, ya reseñados anteriormente.

El establecimiento de los prerrequisitos nos conduce a la posición de los cursos de la Estadística en Ingeniería e Informática. Un estudio reciente sobre la situación actual con especial análisis de las Escuelas Técnicas en España se encuentra en Peña, Prat y Romero (1990) y en relación a las enseñanzas de Informática en Romera (1990).

De forma sintética la ubicación de la Estadística parece centrarse en un cuatrimestre común a todos los programas o titulaciones, y de forma selectiva aparece otro cuatrimestre en algunas especializaciones de la Ingeniería y con bastante frecuencia en especialidades de Informática. Los contenidos, bastante influenciados por el diseño de Hogg (1985) ocupan el curso básico de Estadística en un 55% de Descripción de Datos, Probabilidad e Inferencia y Control de Calidad y el 45% restante en Regresión, Diseño Experimental y Fiabilidad. La única variación en el caso de Informática reside en otorgar un mayor énfasis a los temas de variables aleatorias y fundamentos de secuencias aleatorias (teoremas límite).

En relación con el segundo cuatrimestre de Estadística se puede afirmar que su presencia es frecuente en los programas más clásicos de Ingeniería en Electrónica/Computación y Telecomunicaciones. De una manera más precisa esos cuatrimestres incluyen temas de Procesos Estocásticos necesarios en la modelización del procesamiento de señal o imagen, en control digital, en comunicaciones o en evaluación de sistemas informáticos. Esto es debido a la doble aplicación de los Procesos Estocásticos con señales de ruido en sistemas físicos o como señales aleatorias desconocidas en recepción de señales de comunicaciones entre puntos distantes. Por otra parte conviene no olvidar el protagonismo que los modelos de colas han obtenido en el dimensionamiento y análisis del rendimiento de sistemas y redes de ordenadores. Temas como la Teoría de Martingalas han jugado tradicionalmente un rol importante en la Teoría de Sistema y su Control con aplicaciones en Aviónica, Electrónica y Automática.

Parece justificado, por tanto, que los programas actuales de Ingeniería con especialización en Aeronáutica, Sistemas de Telecomunicación, Electrónica y Computación propongan además de los cursos de Matemáticas y Estadística, un cuatrimestre en el segundo ciclo de la titulación (seniors) en el que se incluyan Fundamentos de Procesos Estocásticos.

A partir de la metodología de diseños curriculares consistente en configurar "cursos" a partir de "unidades", vamos a tratar de llevarla a cabo para los programas de Ingeniería antes mencionados.

Se van a enumerar "unidades" temáticas de Probabilidad, Estadística y Procesos Estocásticos, de forma tal que la selección de grupos para ellas permita un doble objetivo: configurar el contenido de los cursos (seniors y tercer ciclo), y especificar los conocimientos requeridos para cursar materias avanzadas de las distintas especialidades (o programas) en Ingeniería.

2.1. Unidades de Conocimiento

TP.- Teoría de la Probabilidad.

1. Variables Aleatorias.
2. Vectores Aleatorios.
3. Vectores esperanzas y Matrices de Covarianzas.
4. Teoremas límite.
5. Transformaciones de Variables Aleatorias.
6. Distribución normal multivariante.

E.- Estadística.

1. Estimación Paramétrica.
2. Máxima verosimilitud.
3. Estimación por Intervalos.
4. Estimadores Mínimo-Cuadráticos. Teorema de Gauss-Markov.
5. Modelos lineales. Modelos ARMAX.

6. Teoría de Colas.

PE.- Procesos Estocásticos.

1. Secuencias Aleatorias.
2. Secuencias Aleatorias y Sistemas Lineales.
3. Convergencia de Secuencias Aleatorias. Martingalas y Leyes de los Grandes Números.
4. Concepto de Procesos Estocásticos.
5. Clasificación de PE: Procesos Estacionarios, Ergódicos, de Incrementos Independientes, Markovianos, de Conteo.
6. Procesos Estocásticos notables para el análisis de sistemas: Proceso de Poisson, Proceso de Wiener-Levy (o Movimiento Browniano), Procesos de Markov.
7. Análisis espectral de Procesos Estocásticos para un solo proceso. Teorema de Wiener-Khintchine.
8. Análisis Espectral de Procesos Estocásticos para dos procesos: correlación cruzada y función de densidad espectral cruzada.
9. Integración y Diferenciación de Procesos Estocásticos.
10. Procesos Estocásticos Gaussianos: caracterización estadística.
11. Sistemas lineales y Predicción Estocástica I: modelos entrada-salida, propiedades espectrales.
12. Sistemas lineales y Predicción Estocástica II: modelos Gaussianos, estimación y control.
13. Sistemas estocásticos como Cadenas de Markov controladas.
14. Procesos de Poisson, Procesos de nacimiento y muerte y Modelos de Colas.

El número de horas que se asigne a cada "unidad" puede variar según los diversos programas. Se tratará de especificar un número máximo para cada unidad. Por otra parte, el contenido de lo que hemos denominado el curso básico de Estadística puede no coincidir en todos los programas de Ingeniería en cuanto a la materia de Probabilidad, siendo ésta la base fundamental para los Procesos Estocásticos.

2.2. Relaciones entre las Unidades Temáticas

El cuadro adjunto muestra las posiciones de las distintas unidades clasificadas según: requisitos previos, relacionadas con o requisito para otras, tomando como referencia las unidades de Procesos Estocásticos.

	Prerrequisitos	Relacionada con	Requisito para
PE 1	TP1, TP2 TP3	PE2, PE3	PE4, PE5, PE6
PE 2	TP1, TP2, TP3	PE1, PE3	PE4, PE5, PE6
PE 3	TP1, TP2, TP3, TP4	PE1, PE2	PE4, PE5, PE6
PE 4	TP1, TP2, TP3, TP4	PE5, PE6	PE4, PE5, PE6
PE 5	TP(*)	PE4, PE6	
PE 6	TP(*)	PE4, PE5	PE13, PE14
PE 7	TP(*)	PE8, PE9	PE11
PE 8	TP(*)	PE7, PE9	PE11
PE 9	TP(*)	PE7, PE8	PE11
PE 10	TP(*), E1, E2,E3, E4		PE12
PE 11	TP(*), E1, E2, E3, E4	PE2	
PE 12	TP(*), E1, E2, E3,E4, E5	PE10	
PE 13	TP(*)	P5, P6	
PE 14	TP1, TP2, TP3, TP5	P5, P6	E6

Tabla 1. Relaciones entre las distintas Unidades Temáticas:

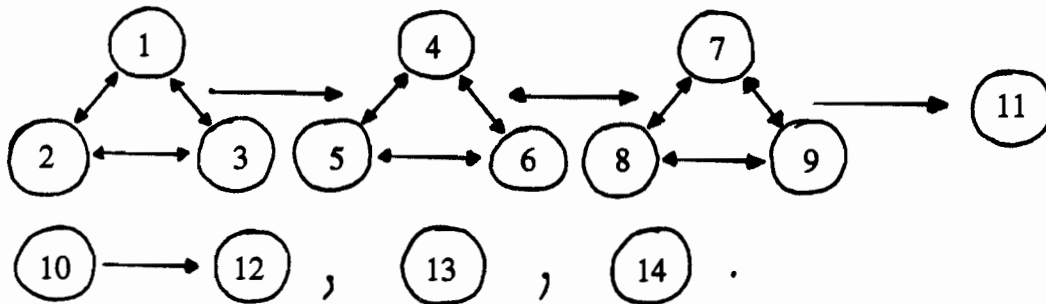
TP.- Teoría de Probabilidad.

E .- Estadística.

PE.- Procesos Estocásticos.

Nota.- TP(*) representa todas las unidades de Teoría de la Probabilidad.

El diagrama adjunto esquematiza las relaciones entre las unidades de Procesos Estocásticos propuestas en la Tabla 1.



Comentarios

Las unidades PE1, PE2 y PE3 introducen los conceptos y resultados básicos sobre Secuencias Aleatorias, como extensión al caso de dimensión infinita de un vector de variables aleatorias. Las Secuencias Aleatorias aparecen típicamente al observar procesamiento de señal e imagen, en control digital y en comunicaciones. Por otra parte modelizan variables de tipo económico, contenidos de registros en computadores digitales o elementos en reconocimiento de patrones, por citar algunos ejemplos. La aplicación más difundida en el ámbito de la Ingeniería es, sin duda, su utilización como entradas (estacionarias o no) en sistemas lineales. Ello permite analizar señales y ruido en filtros lineales para Comunicaciones, cuantificar el ruido en filtrado digital para Procesamiento Digital de Señal o modelizar el efecto de las perturbaciones de las entradas en Teoría del Control.

Como bibliografía a recomendar, por su tratamiento en relación a Teoría de Sistemas, se sugieren los textos de Stark y Woods (1986), en su capítulo 6, y de Wong y Hajek (1985), en su capítulo 3.

El bloque formado por las unidades PE4, PE5 y PE6 resulta la base del curso de Procesos Estocásticos objeto de este estudio. La unidad P5 es conceptualmente la más

densa, y quizá la unidad que más se presta a extensiones es la PE6, teniendo en cuenta la importancia del proceso de Poisson y su generalización al caso no-homogéneo, o la extensión a procesos de conteo, de renovación, etc... Por otra parte el estudio de Cadenas y Procesos de Markov puede determinar una gran amplitud para esta unidad de conocimiento. La modelización del ruido en sistemas físicos es no en vano, la aplicación más clásica de los Procesos Estocásticos en el ámbito de la Ingeniería. Las comunicaciones en Banda Ancha o la modelización de Redes en Teleinformática pueden mencionarse como aplicaciones recientes en Ingeniería de la evaluación de características estadísticas de fenómenos aleatorios, basadas en Procesos Estocásticos.

Como bibliografía de referencia se sugieren Papoulis (1984), Stark y Woods (1986), Taylor y Karlin (1984) y Wong y Majek (1985).

El tratamiento en el dominio de la frecuencia de Procesos Estocásticos débilmente estacionarios posibilita mediante el análisis espectral, la predicción de sus propiedades estadísticas. La relación existente entre la función de autocorrelación del proceso y la función de densidad espectral, como un par de transformadas de Fourier, permite obtener la varianza del procesos como el área bajo la curva de densidad espectral. La principal aplicación del análisis espectral de un proceso se obtiene al estudiar las características estadísticas de la respuesta de un sistema inducido mediante excitación (entrada) aleatoria. Los casos de sistemas lineales son sin duda los que mayor ámbito de aplicación presentan. Las unidades PE7, PE8 Y PE9 se ocupan de estos contenidos, y su aplicación más directa corresponde a PE11. Las referencias recomendadas son Stark y Woods (1986), Ochi (1990) con un excelente capítulo 10, y Kailath (1980) páginas 161-166.

Las unidades PE10 y PE12 se centran en Procesos Estocásticos Gaussianos y Sistemas Lineales. Estos contenidos son ciertamente suficientes para diseñar un curso especializado completo. El procesamiento digital de señal tiene como aliada esencial la teoría de Estimación debido a que permite obtener diseños de filtros digitales que varían en el tiempo y que operando sobre observaciones aleatorias lo hacen de manera óptima. La clave está en la selección de los métodos estadísticos para obtención de estimadores/filtros de estado que proporcionen buenas propiedades. Partiendo de nociones sobre estimación de

parámetros y modelos lineales gaussianos, surge de forma natural en el espacio de estados la consideración de estimación/filtrado y predicción del estado del sistema. A partir del Principio de Ortogonalidad en Estimación Lineal, se deduce para datos con ruido y modelos Gauss-Markov, el filtro de Kalman. El carácter recursivo del algoritmo incrementa su utilidad en predicción y filtrado. Con la inclusión de variables exógenas en el modelo se introduce el planteamiento del control de sistemas lineales estocásticos. Referencias adecuadas son Mendel, J.M. (1987), en sus capítulos 15, 16 y 17, Stark y Woods (1986) en su capítulo 10.

Por último las unidades 13 y 14 presentan sendas aplicaciones de tipos de Procesos Estocásticos en ámbitos de Teoría de Control y de Teleinformática. PE13 se ocupa del estudio de Cadenas de Markov controladas tanto de parámetro discreto como continuo, así como de sus propiedades asintóticas. Las referencias bibliográficas para PE13 son Kumar y Varaiya (1986) capítulo 4 y Ochi (1990) capítulo 13.2.

La unidad PE14 profundiza en el Proceso de Poisson, sus extensiones y su relación con los modelos de colas de tipo proceso de nacimiento y muerte. Los sistemas de tiempo compartido, su análisis y evaluación son la aplicación inmediata de estos contenidos. Como referencias adecuadas se sugieren Kleinrock, L. (1975) y Trivedi, K.S. (1982).

2.3. Programas en Ingeniería e Informática

En este apartado se relacionan los distintos programas o titulaciones en los ámbitos de Ingeniería y Computación con las unidades de Procesos Estocásticos propuestas. La asociación se llevará a cabo mediante materias avanzadas en Ingeniería y Computación para las que los Procesos Estocásticos son requisitos previos, y que los distintos programas deben contener. La Tabla 2 muestra el esquema de estas relaciones.

En la Tabla 2 las Unidades de Conocimiento de Procesos Estocásticos se presentan agrupadas según los criterios expuestos en el apartado 2.2. Para cada materia en Ingeniería/Computación avanzada se presenta una distribución de las 50 horas que podría

ocupar un curso cuatrimestral, entre los distintos grupos de unidades de Procesos Estocásticos. Cada grupo lleva asociado un par de cantidades (entre paréntesis) que representan horas lectivas.

La segunda cantidad proporciona un máximo razonable de horas a asignar a cada grupo, atendiendo a la extensión de sus contenidos. La primera cantidad y según la materia de Ingeniería de que se trate, proporciona una distribución de horas sobre un total de 50.

PROGRAMAS EN INGENIERÍA Y COMPUTACIÓN	MATERIAS EN INGENIERÍA/COMPUTACIÓN AVANZADA	UNIDADES DE PROCESOS ESTOCÁSTICOS
ELECTRÓNICA	Procesamiento de Señal e Imagen	PE1,PE2,PE3 (10/15)
		PE4,PE5,PE6 (20/20)
		PE7,PE8,PE9 (10/15)
		PE10 (5/5)
		PE11 (5/5)
AERONÁUTICA	Sistemas: Control	PE1,PE2,PE3 (10/15)
		PE4,PE5,PE6 (20/20)
		PE7 (5/10)
		PE10,PE12 (10/20)
		PE13 (5/8)
TELECOMUNICACIONES	Robótica	PE1,PE2,PE3 (10/15)
		PE4,PE5,PE6 (15/20)
		PE7 (10/10)
		PE10,PE12 (15/20)
COMPUTACIÓN (Teleinformática)	Redes	PE1,PE2,PE3 (15/15)
		PE4,PE5,PE6 (20/20)
		PE7 (5/10)
		PE14 (10/10)

Tabla 2. Relaciones entre Programas de Ingeniería, Computación y Unidades de Procesos Estocásticos.

Observaciones

1. Se aprecia que para todos los cursos que se pueden configurar a partir de la tabla, existe un número de horas dedicadas a las unidades básicas PE1...PE6 que iguala o supera el 50% del total del curso.
2. Las horas calculadas incluyen posibles trabajos en laboratorio, dependiendo de la especialidad y orientación del curso.
3. No se incluyen los requisitos previos de Teoría de la Probabilidad y Estadística presentados en la Tabla 1, sin embargo, el diseño de cursos sobre "Probabilidad y Procesos Estocásticos" es posible a partir del estudio sintetizado en las Tablas 1 y 2.

2.4. Software

Uno de los aspectos menos establecidos con experiencias contrastadas en la literatura especializada sobre curricula de Ingeniería o Informática, es sin duda la práctica con software especializado.

En un curso básico sobre Procesos Estocásticos o sobre Teoría de la Probabilidad Aplicada y Procesos Estocásticos, es incuestionable la utilidad de las simulaciones de los modelos que se van proponiendo. Existen dos opciones claras para adoptar: utilizar lenguajes de programación (modulares como Turbo Pascal o C ó de propósito general como Fortran) para la simulación de sistemas o modelos construidos sobre Procesos Aleatorios, o bien recurrir a software modular que facilite la simulación del modelo, sin más que seleccionar parámetros, dinámicos, etc...

Desde este último punto de vista y atendiendo a: por una parte su gran difusión, y por otra su facilidad de uso en plataformas PC (ordenadores personales) o

estaciones de trabajo bajo requerimientos mínimos, MATLAB¹ resulta muy recomendable como apoyo general de software.

MATLAB proporciona además del entorno básico que integra computaciones numéricas y una aceptable capacidad gráfica científica, un conjunto de herramientas que implementan procedimientos y técnicas de propósito específico. Las herramientas más adecuadas para los cursos comentados en la sección 2.3 son "SIMULINK" (Software de Simulación de Sistemas Dinámicos), la de Procesamiento de Señal, y quizá Control Robusto.

Gran parte del software de tratamiento de señal, incorpora procedimientos estadísticos de tratamiento de señal, que para diseños de cursos muy específicos resulta de utilidad. En el campo del estudio de sistemas de control, Báez-López y Montero-Hernández (1993) recomiendan TUTSIM².

Desde un punto de vista general en cuanto a herramientas tecnológicas en la Enseñanza en Ingeniería, Qasem y Hohamadian (1992) enfatizan la utilización progresiva de tecnología multimedia. En este trabajo se incide en el impacto que estas herramientas para entrenamiento, simulación, presentaciones,... etc, pueden llegar a tener sobre las sesiones de aula y de laboratorio, así como su repercusión en el diseño curricular en Ingeniería.

Referencias

ACM/IEEE-CS Joint Curriculum Task Force Report 1991, "Computing Curricula 1991", ACM Press.

Báez-López, D. y Montero-Hernández, O., (1993), "An interdisciplinary curriculum in electronics and computer engineering", IEEE Transactions on Education, vol. 36, n°

¹ MATLAB es marca registrada de Math Works Inc.

² TUTSIM es marca registrada de Twente University Technology Simulation Software, The Netherlands.

1, pp. 184-186.

Beccari, C., (1993), "Engineering Education and training in Italy", *Engineering Science and Education Journal*, vol. 2, n° 2, pp. 65-69.

Bothorel, L., (1992), "Thoughts on Engineer Training and the Annual Flow of Engineering Graduates seen in Relation to Industrial Development", *European Journal of Engineering Education*, vol. 17, n° 3, pp 257-274.

Denning, P.J. et a., (1989), "Computing as a discipline", *Communications of the ACM*, 32(1) pp. 9-23.

Denning, P.J., (1992), "Educating a new engineer", *Communications of the ACM*, vol. 35, n° 12, pp 83-97.

Filipiak, J. and Pach, A.R., (1992), "Engineering Education in Poland", *IEEE Communications Magazine*, November 92, pp- 58-64.

Flores, F., (1992), "Offering New Principles for a Shifting Business World", *Bus. Design Assoc*, 2200 Powell Street, Emeryville, Calif., 94608.

Hogg, R., (1985), "Statistical Education for Engineers: An Initial Task Force Report", *The American Statistician*, vol. 39, n° 3, pp. 168-175.

Kailath, T., (1980), "Linear Systems", Englewoods-Cliffs, N.J., Prentice-Hall.

Kleinrock, L., (1975), "Queuing Systems", vol. 1 y 2, N.J.: John Wiley.

Kumar, P.R. y Varaiya, P., (1986), "Stochastic Systems: Estimation, Identification and Adaptive Control", Prentice-Hall.

Mendel, J.M., (1987), "Lessons in Digital Estimation Theory", Prentice-Hall.

- Mesa, F., Savio, M. and Sorba, A., (1992), "The French System of Engineering Formation", IEEE Communications Magazine, Nov.92, pp 44-48.
- Papoulis, A., (1984), "Probability, Random Variables and Stochastic Processes", Mc Graw Hill, New York.
- Parnas, D.L., (1990), "Education for Computing Professionals", IEEE-Computer January 1990, pp. 17-22.
- Peña, D., Prat, A. y Romero, R., (1990), "La enseñanza de la Estadística en las Escuelas Técnicas", Estadística Española, nº 123, pp. 147-177.
- Prablin, N.U., (eds), (1991), "Statistical inference in stochastic processes", Marcel Dekker.
- Qasem, I. y Mohamadian H., (1992), "Multimedia Technology in Engineering Education", Proceedings IEEE Southeastcon'92, pp. 46-49.
- Romera, R., (1990), "La Estadística en las enseñanzas de Informática", Estadística Española, nº 123, pp. 128-191.
- Sáez Vacas, F., (1992), "Reflexiones sobre la necesidad y el modo de reajustar el modelo educativo vigente en informática superior", Informática y Automática, vol. 25-3,4, pp. 51-64.
- Stark, H. y Woods, J.W., (1986), "Probability, Random Processes and Estimation Theory for Engineers", Prentice Hall.
- Taylor, H.M. y Karlin, S., (1984), "An introduction to Stochastic Modeling", Academic Press, New York.
- Trivedi, K.S., (1982), "Probability and Statistics with Reliability, Queuing and Computer Science Applications", Prentice-Hall.

Walker, C.A., (1992), "The form and Content of Courses for the Education of Engineers",
European Journal of Engineering Education, vol.17, n° 3, pp 247-255.

Winograd, T. y Flores, F., (1988), "Understanding Computers and Cognition: A New
Foundation for Design", Addison-Wesley.

Wong, E. y Hajek, B., (1985), "Stochastic Processes in Engineering Systems", New-York:
Springer-Verlag.