

# Índice general

7-8	INTRODUCCIÓN
9-43	TEMA 1. PRIMEROS PASOS CON R
10-13	1.1. Zona de trabajo (“Workspace”)
11-11	1.1.1. Ayudas
11-12	1.1.2. Scripts
13-13	1.1.3. Paquetes R
13-18	1.2. Sintaxis del lenguaje R
14-18	1.2.1. Cálculo
19-24	1.3. Vectores
19-22	1.3.1. Vectores numéricos
22-22	1.3.2. Vectores lógicos
22-23	1.3.3. Valores ausentes (“missing values”)
23-23	1.3.4. Vectores de caracteres
23-34	1.3.5. Factores
24-33	1.4. Matrices y “arrays”
27-31	1.4.1. Operaciones con matrices
31-33	1.4.2. Tablas de contingencia
33-38	1.5. Bases de datos
33-34	1.5.1. Listas
34-38	1.5.2. Data frames
38-39	1.6. Distribuciones de probabilidad
40-43	1.7. Programación
40-43	1.7.1. Estructuras de control
45-77	TEMA 2. INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN
48-51	2.1. Tipos de simulación
51-55	2.2. Sistemas, modelos y simulación
55-56	2.2.1. Fases de un estudio de simulación
56-56	2.2.2. Software para simulación

56-59	2.3. Números aleatorios y pseudoaleatorios
57-59	2.3.1. Generadores congruenciales
59-68	2.4. Contrastes de bondad de ajuste
60-65	2.4.1. Contrastes de Kolmogorov-Smirnov
65-68	2.4.2. Contraste de la Chi-Cuadrado
69-77	2.5. Contrastes de aleatoriedad e independencia
69-72	2.5.1. Contraste de las rachas (RUNS)
73-77	2.5.2. Contraste de los huecos (GAPS)
79-136	TEMA 3. GENERACIÓN DE VARIABLES ALEATORIAS
79-83	3.1. Dos métodos sencillos
79-80	3.1.1. Mediante el Teorema Central del Límite
81-83	3.1.2. Algoritmo de Box-Muller
83-121	3.2. Métodos generales de simulación
84-90	3.2.1. Transformación inversa
90-100	3.2.2. Aceptación-rechazo
100-115	3.2.3. Razón de uniformes
115-121	3.2.4. Composición (Simulación de mixturas)
121-123	3.3. Métodos específicos de simulación de variables aleatorias continuas
123-136	3.4. Métodos específicos de simulación de variables aleatorias discretas
123-127	3.4.1. Transformación inversa
127-130	3.4.2. Búsqueda indexada
130-136	3.4.3. Método alias
137-149	TEMA 4. GENERACIÓN DE PROCESOS DE POISSON
138-140	4.1. Procesos de Poisson homogéneos
141-149	4.2. Procesos de Poisson no homogéneos
143-149	4.2.1. Mejora del procedimiento de simulación
151-193	TEMA 5. APLICACIONES DE LA SIMULACIÓN
151-153	5.1. Simulación de Sucesos Discretos
152-153	5.1.1. Conceptos Generales
153-171	5.2. Modelos de colas
154-163	5.2.1. Cola con un servidor
163-167	5.2.2. Cola con dos servidores en serie
167-171	5.2.3. Cola con dos servidores en paralelo
171-174	5.3. Modelos de inventario (Control de stocks)

175-177	5.4. Problemas de mantenimiento
177-185	5.5. Integración Monte Carlo
185-193	5.6. Simulación Estocástica Bayesiana
186-188	5.6.1. Inferencia Bayesiana
188-193	5.6.2. Muestreador de Gibbs (“Gibbs Sampler”)
195-199	TEMA 6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS SIMULADOS
195-196	6.1. Los estimadores media y varianza muestral
196-199	6.2. Determinación del número de simulaciones
196-197	6.2.1. Desigualdad de Tchebychev
197-198	6.2.2. Teorema Central del Límite
198-199	6.2.3. Intervalo de confianza para la media
201-216	TEMA 7. TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE LA VARIANZA
201-203	7.1. Variables antitéticas
203-205	7.2. Variables de control
205-212	7.3. Muestreo por importancia
209-212	7.3.1. Algoritmo SIR
212-216	7.4. Condicionamiento
217-257	APÉNDICE: EJERCICIOS RESUELTOS SUPLEMENTARIOS
218-23	TEMA A. MÉTODO DE ACEPTACIÓN-RECHAZO
233-237	TEMA B. SIMULACIÓN DE VARIABLES ALEATORIAS CONTINUAS
238-252	TEMA C. SIMULACIÓN DE VARIABLES DISCRETAS
253-254	BIBLIOGRAFÍA

## Introducción

La necesidad de manejar sistemas en ambiente de incertidumbre para los casos reales, hace necesario un marco de representación de elementos aleatorios interconectados, con el objetivo de analizar o intervenir en la posible evolución de los mismos. En esta línea, hemos planteado esta monografía, proponiendo unos temas que establezcan un posible nexo de unión entre los fundamentos teóricos y la aplicación de los procedimientos que permiten representar situaciones con aspectos inciertos. Para facilitar las aplicaciones, se ha propuesto la utilización del lenguaje de código abierto R como herramienta computacional, por lo que al inicio se expone una breve introducción que permite comenzar a trabajar en este entorno. Posteriormente, todos los ejemplos y ejercicios llevan incorporadas las correspondientes secuencias de comandos de R para proceder a su ejecución y permitir llevar a cabo o modificar los cálculos. Se puede acceder al fichero comprimido con todos los *scripts* de comandos de R, ordenados según su aparición en el texto, en <http://www2.uned.es/experto-estadistica-multivariante/simR>

A continuación, como instrumento clave para reproducir la incertidumbre, se presentan los generadores congruenciales de números pseudoaleatorios y las técnicas estadísticas para validar el buen comportamiento de cualquier generador. A partir de este momento se está en disposición de simular situaciones inciertas, obteniendo observaciones de cualquier variable aleatoria con distribución de probabilidad conocida. No obstante, será imprescindible estudiar métodos que sean apropiados, versátiles y eficientes para los diferentes modelos

de probabilidad. En este sentido, se introducen técnicas de aplicación general y como complemento aplicaciones específicas para variables con nombre propio, utilizadas habitualmente. También, se estudia brevemente la generación de un tipo particular de procesos estocásticos, los procesos de Poisson, por ser absolutamente esenciales en el comportamiento de algunos sistemas que se tratan posteriormente.

Con esta base teórica, abordamos el objetivo fundamental de esta memoria, la simulación de sistemas presentes en los casos reales. El gran reto de este tipo de problemas consiste en la utilización de las herramientas presentadas anteriormente, de forma que se representen todas las componentes influyentes, para trasladar el funcionamiento del sistema propuesto al entorno computacional. Siempre, será deseable recurrir al modo más sencillo posible, manteniendo validez y eficiencia; en efecto, todo un arte [10]. Una ayuda en esta tarea es el planteamiento que se conoce como Simulación de Sucesos Discretos, especialmente eficaz en la modelización de sistemas complejos que son a los que nos solemos enfrentar actualmente en las diferentes disciplinas. Con el estudio y manejo de esta metodología en distintos modelos de aplicación general, como modelos de colas o inventario, comenzamos las aplicaciones de la simulación. En este tema, también se manejan los Métodos de Monte Carlo en los que se introduce, de forma relativamente artificial, algún elemento aleatorio para resolver problemas que, a veces, son enteramente determinísticos.

Para concluir con las aplicaciones, se hace una breve mención al tema de la simulación Bayesiana. Se ha seleccionado el Muestreador de Gibbs como el representante más amigable de las técnicas MCMC (Markov Chain Monte Carlo), de enorme importancia en el desarrollo y práctica de la inferencia Bayesiana.

La validación estadística de los datos simulados como representantes del sistema analizado y la reducción del sesgo de las estimaciones, mediante procedimientos alternativos de simulación, constituyen los temas finales que complementan la materia desarrollada en el texto.

Confiamos en que nuestra propuesta sea de interés tanto para los estudiantes, que se enfrentan por primera vez a este tipo de conceptos y técnicas, como para los profesionales en las distintas áreas que necesitan complementar su formación, con el objetivo de avanzar en el desarrollo de sus respectivos proyectos. En todos los casos, deseamos haber transmitido nuestro entusiasmo por el estudio de este tipo de materias, ya que creemos en la importancia de la aplicación y profundización en estos temas, dentro de los distintos ambientes en los que se presentan situaciones con incertidumbre.