



## Teaching Guide

| Identifying Data         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |              |                     | 2017/18 |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------|---------|
| Subject (*)              | Statistical Simulation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Code         | 614493011           |         |
| Study programme          | Mestrado Universitario en Técnicas Estadísticas (Plan 2011)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |              |                     |         |
| Descriptors              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |              |                     |         |
| Cycle                    | Period                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Year         | Type                | Credits |
| Official Master's Degree | 2nd four-month period                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | First Second | Optativa            | 5       |
| Language                 | Spanish                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |              |                     |         |
| Teaching method          | Face-to-face                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |              |                     |         |
| Prerequisites            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |              |                     |         |
| Department               | Matemáticas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |              |                     |         |
| Coordinador              | Fernández Casal, Rubén                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | E-mail       | ruben.fcasal@udc.es |         |
| Lecturers                | Fernández Casal, Rubén                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | E-mail       | ruben.fcasal@udc.es |         |
| Web                      | eio.usc.es/pub/mte/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |              |                     |         |
| General description      | <p>Se pretende que el alumno adquiera destreza en la identificación de problemas reales que pueden ser resueltos mediante simulación y su resolución en la práctica. Para ello se tratará de que el alumno conozca el funcionamiento de los principales algoritmos de generación de números aleatorios uniformes, así como de métodos generales y específicos para simular distintas distribuciones de probabilidad (tanto discretas como continuas y en el caso uni o multidimensional).</p> <p>También se pretende que el alumno conozca las principales aplicaciones de la simulación (especialmente en inferencia estadística), las ventajas y limitaciones de esta metodología y algunas de las técnicas más utilizadas.</p> |              |                     |         |

## Study programme competences

| Code | Study programme competences                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1   | A adquisición dos coñecementos de estatística e investigación operativa necesarios para a incorporación en equipos multidisciplinares pertencentes a diferentes sectores profesionais.                                                                                                                    |
| A2   | Capacidade para comprender, formular, formular e resolver aqueles problemas susceptibles de ser abordados a través de modelos da estatística e da investigación operativa.                                                                                                                                |
| A3   | Coñecer as aplicacións dos modelos da estatística e a investigación operativa.                                                                                                                                                                                                                            |
| A7   | Tratamento de datos e análise estatística dos resultados obtidos.                                                                                                                                                                                                                                         |
| A9   | Obter os coñecementos precisos para unha análise crítica e rigorosa dos resultados.                                                                                                                                                                                                                       |
| A11  | Adquirir destrezas na formulación e resolución de problemas cuantitativos.                                                                                                                                                                                                                                |
| A13  | Ser capaz de manexar diverso software (en particular R) e interpretar os resultados que proporcionan estes nos correspondentes estudos prácticos.                                                                                                                                                         |
| A15  | Fomentar a sensibilidade cara aos principios do pensamento científico, favorecendo as actitudes asociadas ao desenvolvemento dos métodos matemáticos, como: o cuestionamento das ideas intuitivas, a análise crítica das afirmacións, a capacidade de análise e síntese ou a toma de decisións racionais. |
| B6   | Capacidade para iniciar a investigación e para participar en proxectos de investigación que poden culminar na elaboración dunha tese doutoral.                                                                                                                                                            |
| B7   | Capacidade de aplicación de algoritmos de resolución dos problemas e manexo do software axeitado                                                                                                                                                                                                          |
| B8   | Capacidade de traballo en equipo e de forma autónoma                                                                                                                                                                                                                                                      |
| B9   | Capacidade de formular problemas en termos estatísticos, e de resolvelos utilizando as técnicas axeitadas                                                                                                                                                                                                 |
| B10  | Capacidade de identificar e resolver problemas                                                                                                                                                                                                                                                            |
| B12  | Adquirir destreza para o desenvolvemento de software                                                                                                                                                                                                                                                      |
| B14  | Redacción de informes estatísticos con precisión, orde e claridade                                                                                                                                                                                                                                        |
| C1   | Ser capaz de identificar un problema da vida real.                                                                                                                                                                                                                                                        |
| C2   | Dominar a terminoloxía científica-metodolóxica para comprender e interactuar con outros profesionais.                                                                                                                                                                                                     |
| C3   | Habilidade para traballar os aspectos metodolóxicos da investigación en colaboración con outros colegas a través do Campus Virtual co foro.                                                                                                                                                               |
| C4   | Habilidade para realizar a análise estatística con ordenador.                                                                                                                                                                                                                                             |
| C5   | Escoller o deseño máis axeitado para responder á pregunta de investigación.                                                                                                                                                                                                                               |



|     |                                                                                                                                     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C6  | Utilizar as técnicas estatísticas máis axeitadas para analizar os datos dunha investigación.                                        |
| C7  | Planificar, analizar e interpretar os resultados dunha investigación considerando tanto os aspectos teóricos coma os metodolóxicos. |
| C8  | Habilidade de xestión administrativa do proceso dunha investigación.                                                                |
| C9  | Comunicación e difusión dos resultados das investigacións.                                                                          |
| C10 | Lectura con xuízo crítico de artigos científicos dende unha perspectiva metodolóxica.                                               |

| Learning outcomes                                                                                                                                                                                       |                                  |                            |                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Learning outcomes                                                                                                                                                                                       | Study programme competences      |                            |                                                              |
| Comprensión das técnicas básicas de simulación.                                                                                                                                                         | AC1<br>AC2<br>AC3<br>AC7<br>AC11 | BJ10<br>BJ14               |                                                              |
| Capacidade crítica sobre as posibilidades e limitacións das técnicas de simulación.                                                                                                                     | AC1<br>AC2<br>AC3<br>AC9<br>AC15 | BJ6<br>BJ9<br>BJ14         | CJ1<br>CJ2<br>CJ3<br>CJ5<br>CJ6<br>CJ7<br>CJ8<br>CJ9<br>CJ10 |
| Capacidade de manexar algún tipo de software (paquetes estatísticos ou follas de cálculo, como R ou excel) para levar a cabo estudos de simulación.                                                     | AC2<br>AC7<br>AC11<br>AC13       | BJ7<br>BJ8<br>BJ12<br>BJ14 | CJ4<br>CJ6<br>CJ7                                            |
| Capacidade de identificar problemas que requiran o deseño de experimentos de simulación e resolvelos mediante a súa implementación en linguaxes de programación de alto nivel (como el lenguaje GNU R). | AC3<br>AC11                      |                            |                                                              |

| Contents                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Topic                                                             | Sub-topic                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 1. Introducción.                                                  | Conceptos de sistema real, modelo y definición de simulación. Experimentación real y simulación. Simulación necesaria e innecesaria. Ventajas e inconvenientes de la simulación. Contenidos de la asignatura.                                                          |
| 2. Generación de números pseudoaleatorios uniformes en (0,1).     | Introducción. Propiedades deseables de un generador de números pseudoaleatorios uniformes. Métodos de los cuadrados medios y de Lehmer. Métodos congruenciales. Medidas estadísticas de calidad de un generador de números pseudoaleatorios.                           |
| 3. Métodos universales para la generación de variables continuas. | Método de inversión. Método de aceptación/ rechazo y sus variantes. Ejemplos de métodos específicos para generación de distribuciones notables.                                                                                                                        |
| 4. Métodos universales para la generación de variables discretas. | Método de la transformación cuantil. Algoritmos basados en búsqueda secuencial. Métodos de truncamiento. Algoritmos basados en árboles binarios. Método de la tabla guía. Método de Alias. Ejemplos de métodos específicos para generación de distribuciones notables. |
| 5. Simulación de distribuciones multidimensionales.               | Método de las distribuciones condicionadas. Método de aceptación/rechazo. Simulación de datos dependientes: métodos basados en la factorización de la matriz de covarianzas y simulación basada en cópulas. Simulación discreta multivariante.                         |
| 6. Análisis de los resultados de simulación.                      | Diagnosis de la convergencia. Estimación de la precisión. Problemas de estabilización y dependencia.                                                                                                                                                                   |



|                                                                 |                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7. Aplicaciones de la simulación.                               | Aplicaciones en inferencia estadística. Introducción al remuestreo Bootstrap. Integración Monte Carlo. Muestreo de importancia. Optimización Monte Carlo. Temple simulado. Algoritmos genéticos de optimización. |
| 8. Técnicas de reducción de la varianza.                        | Variabes antitéticas. Números aleatorios comunes. Muestreo estratificado. Variables de control. Condicionamiento.                                                                                                |
| 9. Introducción a los métodos de cadenas de Markov Monte Carlo. | Muestreo de Gibbs. Algoritmo Metropolis Hastings. Diagnóstico de un algoritmo MCMC.                                                                                                                              |

| Planning                       |                                                     |                      |                               |             |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------|
| Methodologies / tests          | Competencies                                        | Ordinary class hours | Student's personal work hours | Total hours |
| Guest lecture / keynote speech | A1 A2 A3 A7 A9 C2<br>C6 C7 C8 C10                   | 16                   | 32                            | 48          |
| Laboratory practice            | A1 A2 A3 A11 A13 B7<br>B8 B9 B10 B12 C3<br>C4 C5 C9 | 18                   | 18                            | 36          |
| Supervised projects            | A1 A2 A3 A15 B6 B7<br>B12 B14 C1 C4 C6<br>C7        | 0                    | 30                            | 30          |
| Objective test                 | A1 A2 A3                                            | 2                    | 0                             | 2           |
| Personalized attention         |                                                     | 9                    | 0                             | 9           |

(\*)The information in the planning table is for guidance only and does not take into account the heterogeneity of the students.

| Methodologies                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Methodologies                  | Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Guest lecture / keynote speech | Presentación dos aspectos relevantes de cada tema incluído no programa da materia, de modo que os alumnos poidan abordar as tarefas propostas nas prácticas de laboratorio.                                                                                                                                                                                                                      |
| Laboratory practice            | Empregaránse diferentes ferramentas de software libre (principalmente o paquete R, pero tamén recursos web, applets, ...) para ilustrar a aplicación na práctica das metodoloxías explicadas nas clases teóricas e tamén co fin de facilitar a resolución dos traballos prácticos propostos. Ademais facilitarase un guión das prácticas onde se describirán os distintos exercicios a realizar. |
| Supervised projects            | Traballos prácticos propostos para que o alumno poida resolvelos con axuda de programas informáticos. Unha vez resoltos, o alumno deberá presentar e discutir a solución que aplicou.                                                                                                                                                                                                            |
| Objective test                 | Proba escrita para a avaliación da aprendizaxe que constará dunha parte teórica e doutra práctica.                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

| Personalized attention                                                       |                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Methodologies                                                                | Description                                                                                  |
| Guest lecture / keynote speech<br>Laboratory practice<br>Supervised projects | Atención ao alumno tanto durante o desenvolvemento das clases coma nos horarios de titorías. |

| Assessment                     |                                                     |                                                                                    |               |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Methodologies                  | Competencies                                        | Description                                                                        | Qualification |
| Guest lecture / keynote speech | A1 A2 A3 A7 A9 C2<br>C6 C7 C8 C10                   | Avaliaranse os coñecementos adquiridos mediante a realización dunha proba escrita. | 30            |
| Laboratory practice            | A1 A2 A3 A11 A13 B7<br>B8 B9 B10 B12 C3<br>C4 C5 C9 | Avaliaranse os coñecementos adquiridos mediante a realización dunha proba escrita. | 30            |



|                     |                                              |                                      |    |
|---------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----|
| Supervised projects | A1 A2 A3 A15 B6 B7<br>B12 B14 C1 C4 C6<br>C7 | Presentación dos traballos resoltos. | 40 |
| Others              |                                              |                                      |    |

#### Assessment comments

#### Sources of information

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Basic</b>         | <ul style="list-style-type: none"><li>- Cao, R. (2002). Introducción a la simulación y a la teoría de colas. Netbiblo</li><li>- Gentle, J.E. (2003). Random number generation and Monte Carlo methods. Springer-Verlag</li><li>- Jones, O., Maillardet, R. y Robinson A. (2009). Introduction to Scientific Programming and Simulation Using R. CRC</li><li>- Robert, C.P. y Casella G. (2010). Introducing Monte Carlo Methods with R. Springer</li></ul>                                                                        |
| <b>Complementary</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Bratley, P. (1990). A guide to simulation. Springer-Verlag</li><li>- Devroye, L. (1986). Non-uniform random variate generation. Springer-Verlag</li><li>- Evans, M. y Swartz, T. (2000). Approximating integrals via Monte Carlo and . Oxford University Press</li><li>- Ripley, B.D. (1987). Stochastic Simulation. Wiley</li><li>- Ross, S.M. (1999). Simulación. Prentice Hall</li><li>- Robert, C.P. y Casella, G. (2004). Monte Carlo statistical methods. Springer-Verlag</li></ul> |

#### Recommendations

##### Subjects that it is recommended to have taken before

##### Subjects that are recommended to be taken simultaneously

##### Subjects that continue the syllabus

##### Other comments

(\*)The teaching guide is the document in which the URV publishes the information about all its courses. It is a public document and cannot be modified. Only in exceptional cases can it be revised by the competent agent or duly revised so that it is in line with current legislation.