



## Teaching Guide

| Teaching Guide           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |        |                     |           |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------------------|-----------|
| Identifying Data         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |        |                     | 2020/21   |
| Subject (*)              | Statistical Simulation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |        | Code                | 614493122 |
| Study programme          | Mestrado Universitario en Técnicas Estadísticas (Plan 2019)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |        |                     |           |
| Descriptors              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |        |                     |           |
| Cycle                    | Period                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Year   | Type                | Credits   |
| Official Master's Degree | 2nd four-month period                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | First  | Optional            | 5         |
| Language                 | Spanish                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |                     |           |
| Teaching method          | Hybrid                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |        |                     |           |
| 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      | 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). 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. |        |                     |           |
| Contingency plan         | 1. Modifications to the contents<br><br>2. Methodologies<br>*Teaching methodologies that are maintained<br><br>*Teaching methodologies that are modified<br><br>3. Mechanisms for personalized attention to students<br><br>4. Modifications in the evaluation<br><br>*Evaluation observations:<br><br>5. Modifications to the bibliography or webgraphy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |        |                     |           |

## Study programme competences

| Code | Study programme competences                                                                                                                                                                                                                                             |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A16  | CE1 - Coñecer, identificar, modelar, estudar e resolver problemas complexos de estatística e investigación operativa, nun contexto científico, tecnolóxico ou profesional, xurdidos en aplicacións reais.                                                               |
| A18  | CE3 - Adquirir coñecementos avanzados dos fundamentos teóricos subxacentes ás distintas metodoloxías da estatística e a investigación operativa, que permitan o seu desenvolvemento profesional especializado.                                                          |
| A19  | CE4 - Adquirir as destrezas necesarias no manexo teórico-práctico da teoría de probabilidade e as variables aleatorias que permitan o seu desenvolvemento profesional no eido científico/académico, tecnolóxico ou profesional especializado e multidisciplinar.        |
| A20  | CE5 - Profundizar no coñecemento dos fundamentos teórico-prácticos especializados de modelado e estudo de distintos tipos de relacións de dependencia entre variables estatísticas.                                                                                     |
| A21  | CE6 - Adquirir coñecementos teórico-prácticos avanzados de distintas técnicas matemáticas, orientadas especificamente á axuda na toma de decisións, e desenvolver a capacidade de reflexión para avaliar e decidir entre distintas perspectivas en contextos complexos. |



|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A23 | CE8 - Adquirir coñecementos teórico-prácticos avanzados das técnicas destinadas á realización de inferencias e contrastes relativos a variables e parámetros dun modelo estatístico, e saber aplicalos con autonomía suficiente nun contexto científico, tecnolóxico ou profesional.                                                |
| A24 | CE9 - Coñecer e saber aplicar con autonomía en contextos científicos, tecnolóxicos ou profesionais, técnicas de aprendizaxe automático e técnicas de análise de datos de alta dimensión (big data).                                                                                                                                 |
| A25 | CE10 - Adquirir coñecementos avanzados sobre metodoloxías para a obtención e o tratamento de datos derivados de distintas fontes, como enquisas, internet, ou entornos "na nube".                                                                                                                                                   |
| B1  | CB6 - Posuír e comprender coñecementos que acheguen unha base ou oportunidade de ser orixinais no desenvolvemento e/ou aplicación de ideas, a miúdo nun contexto de investigación                                                                                                                                                   |
| B2  | CB7 - Que os estudantes saiban aplicar os coñecementos adquiridos e a súa capacidade de resolución de problemas en ámbitos novos ou pouco coñecidos dentro de contextos máis amplos (ou multidisciplinares) relacionados coa súa área de estudo                                                                                     |
| B3  | CB8 - Que os estudantes sexan capaces de integrar coñecementos e enfrontarse á complexidade de formular xuízos a partir dunha información que, sendo incompleta ou limitada, inclúa reflexións sobre as responsabilidades sociais e éticas vinculadas á aplicación dos seus coñecementos e xuízos                                   |
| B4  | CB9 - Que os estudantes saiban comunicar as súas conclusións e os coñecementos e razóns últimas que as sustentan a públicos especializados e non especializados dun modo claro e sen ambigüidades                                                                                                                                   |
| B5  | CB10 - Que os estudantes posúan as habilidades de aprendizaxe que lles permitan continuar estudando dun modo que haberá de ser en gran medida autodirixido ou autónomo.                                                                                                                                                             |
| B17 | CG1 - Coñecer, comprender e saber aplicar os principios, metodoloxías e novas tecnoloxías na estatística e a investigación operativa en contextos científico/académicos, tecnolóxicos ou profesionais especializados e multidisciplinares, así como adquirir as destrezas e competencias descritas nos obxectivos xerais do título. |
| B18 | CG2 - Desenvolver autonomía para identificar, modelar e resolver problemas complexos da estatística e da investigación operativa en contextos científico/académicos, tecnolóxicos ou profesionais especializados e multidisciplinares.                                                                                              |
| B19 | CG3 - Desenvolver a capacidade para realizar estudos e tarefas de investigación e transmitir os resultados a públicos especializados, académicos e xeneralistas.                                                                                                                                                                    |
| B20 | CG4 - Integrar coñecementos avanzados e enfrontarse á toma de decisións a partir de información científica e técnica.                                                                                                                                                                                                               |
| B21 | CG5 - Desenvolver a capacidade de aplicación de algoritmos e técnicas de resolución de problemas complexos no eido da estatística e a investigación operativa, manexando o software especializado axeitado.                                                                                                                         |
| C11 | CT1 - Desenvolver firmes capacidades de razoamento, análise crítica e autocrítica, así como de argumentación e de síntese, contextos especializados e multidisciplinares.                                                                                                                                                           |
| C12 | CT2 - Desenvolver destrezas avanzadas no manexo de Tecnoloxías da Información e a Comunicación (TIC), tanto para a obtención de información como para a difusión do coñecemento, nun ámbito científico/académico, tecnolóxico ou profesional especializado e multidisciplinar.                                                      |
| C13 | CT3 - Ser capaz de resolver problemas complexos en novos escenarios mediante a aplicación integrada dos coñecementos.                                                                                                                                                                                                               |
| C14 | CT4 - Desenvolver unha sólida capacidade de organización e planificación do estudo, asumindo a responsabilidade do seu propio desenvolvemento profesional, para a realización de traballos en equipo e de xeito autónomo.                                                                                                           |
| C15 | CT5 - Desenvolver capacidades para o aprendizaxe e a integración no traballo en equipos multidisciplinares, nos ámbitos científico/académico, tecnolóxico e profesional.                                                                                                                                                            |

## Learning outcomes

| Learning outcomes | Study programme competences |
|-------------------|-----------------------------|
|-------------------|-----------------------------|



|                                                                                                                                                                      |      |      |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|
| Conocer los fundamentos de la simulación estadística.                                                                                                                | AC16 | BJ1  | CJ11 |
|                                                                                                                                                                      | AC18 | BJ2  | CJ12 |
|                                                                                                                                                                      | AC19 | BJ3  | CJ13 |
|                                                                                                                                                                      | AC20 | BJ4  | CJ14 |
|                                                                                                                                                                      | AC21 | BJ5  | CJ15 |
|                                                                                                                                                                      | AC23 | BJ17 |      |
|                                                                                                                                                                      | AC24 | BJ18 |      |
|                                                                                                                                                                      | AC25 | BJ19 |      |
|                                                                                                                                                                      |      | BJ20 |      |
|                                                                                                                                                                      |      | BJ21 |      |
| Saber generar los principales modelos de probabilidad tanto unidimensionales como multidimensionales.                                                                | AC16 | BJ1  | CJ11 |
|                                                                                                                                                                      | AC18 | BJ2  | CJ12 |
|                                                                                                                                                                      | AC19 | BJ3  | CJ13 |
|                                                                                                                                                                      | AC20 | BJ4  | CJ14 |
|                                                                                                                                                                      | AC21 | BJ5  | CJ15 |
|                                                                                                                                                                      | AC23 | BJ17 |      |
|                                                                                                                                                                      | AC24 | BJ18 |      |
|                                                                                                                                                                      | AC25 | BJ19 |      |
|                                                                                                                                                                      |      | BJ20 |      |
|                                                                                                                                                                      |      | BJ21 |      |
| Conocer y saber usar de forma autónoma el software necesario para aplicar los métodos de simulación al análisis de problemas reales en contextos multidisciplinares. | AC16 | BJ1  | CJ11 |
|                                                                                                                                                                      | AC18 | BJ2  | CJ12 |
|                                                                                                                                                                      | AC19 | BJ3  | CJ13 |
|                                                                                                                                                                      | AC20 | BJ4  | CJ14 |
|                                                                                                                                                                      | AC21 | BJ5  | CJ15 |
|                                                                                                                                                                      | AC23 | BJ17 |      |
|                                                                                                                                                                      | AC24 | BJ18 |      |
|                                                                                                                                                                      | AC25 | BJ19 |      |
|                                                                                                                                                                      |      | BJ20 |      |
|                                                                                                                                                                      |      | BJ21 |      |

| 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. Análisis de los resultados de simulación.                      | Diagnóstico de la convergencia. Estimación de la precisión. Problemas de estabilización y dependencia.                                                                                                                                                                 |
| 4. 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.                                                                                                                        |
| 5. 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. |
| 6. 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.                         |



|                                                                 |                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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.                        | Variables 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                                                                                                  | A16 A18 A19 A20<br>A21 A23 A24 A25 B1<br>B2 B3 B5 B17 B18<br>B20 B21 C11 C12<br>C13                | 20                   | 30                            | 50          |
| ICT practicals                                                                                                                  | A16 A19 A24 B2 B3<br>B4 B5 B17 B18 B19<br>B20 B21 C11 C12<br>C13 C14 C15                           | 7                    | 10.5                          | 17.5        |
| Seminar                                                                                                                         | A16 A18 A19 A20<br>A21 A23 A24 A25 B1<br>B2 B3 B4 B5 B17 B18<br>B19 B20 B21 C11<br>C12 C13 C14 C15 | 7                    | 10.5                          | 17.5        |
| Problem solving                                                                                                                 | A16 A18 A19 A20<br>A21 A23 A24 A25 B1<br>B2 B3 B4 B5 B17 B18<br>B19 B20 C11 C12<br>C13 C14 C15     | 1                    | 10                            | 11          |
| Objective test                                                                                                                  | A16 A18 A19 A20<br>A21 A23 A24 A25 B1<br>B2 B3 B4 B5 B17 B18<br>B19 B20 B21 C11<br>C12 C13         | 3                    | 17                            | 20          |
| 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 | Sesiones expositivas, en las que los presentarán conceptos y/o procedimientos, aportando información básica necesaria para entender una perspectiva teórica o un procedimiento práctico, promoviendo la participación del estudiantado. |
| ICT practicals                 | Sesiones interactivas de prácticas de laboratorio (informática) o de resolución de problemas, donde los docentes apoyarán y supervisarán la puesta en práctica de los conocimientos adquiridos por parte del alumnado.                  |
| Seminar                        | Actividades de aprendizaje colaborativo, en las que los docentes coordinarán la realización de trabajos en grupo.                                                                                                                       |
| Problem solving                | Actividades de aprendizaje autónomo, en las que los docentes guiarán la realización de trabajos individuales por parte del alumnado.                                                                                                    |
| Objective test                 | Prueba escrita para la evaluación del aprendizaje que constará de una parte teórica y de otra práctica.                                                                                                                                 |



## Personalized attention

| Methodologies                                                                                       | Description                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Guest lecture /<br>keynote speech<br>ICT practicals<br>Objective test<br>Seminar<br>Problem solving | Atención al alumno tanto durante el desarrollo de las clases como en los horarios de tutorías. |

## Assessment

| Methodologies                     | Competencies                                                                                       | Description                                                                        | Qualification |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Guest lecture /<br>keynote speech | A16 A18 A19 A20<br>A21 A23 A24 A25 B1<br>B2 B3 B5 B17 B18<br>B20 B21 C11 C12<br>C13                | Avaliaranse os coñecementos adquiridos mediante a realización dunha proba escrita. | 30            |
| ICT practicals                    | A16 A19 A24 B2 B3<br>B4 B5 B17 B18 B19<br>B20 B21 C11 C12<br>C13 C14 C15                           | Avaliaranse os coñecementos adquiridos mediante a realización dunha proba escrita. | 30            |
| Seminar                           | A16 A18 A19 A20<br>A21 A23 A24 A25 B1<br>B2 B3 B4 B5 B17 B18<br>B19 B20 B21 C11<br>C12 C13 C14 C15 | 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>- Fernández-Casal, R. y Cao, R. (2020). Simulación Estadística. <a href="https://rubenfcasal.github.io/simbook">https://rubenfcasal.github.io/simbook</a></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.