



Guía docente de la asignatura

Asignatura	TELETRÁFICO		
Materia	PROTOCOLOS, REDES Y SERVICIOS TELEMÁTICOS AVANZADOS		
Módulo	MATERIAS ESPECÍFICAS DE LA MENCIÓN EN TELEMÁTICA		
Titulación	GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS DE TELECOMUNICACIÓN – MENCIÓN EN TELEMÁTICA		
Plan	512	Código	46662
Periodo de impartición	2º CUATRIMESTRE	Tipo/Carácter	OPTATIVA (OBLIGATORIA DE LA MENCIÓN)
Nivel/Ciclo	GRADO	Curso	3º
Créditos ECTS	6 ECTS		
Lengua en que se imparte	CASTELLANO		
Profesor/es responsable/s	JUAN IGNACIO ASENSIO PÉREZ		
Datos de contacto (E-mail, teléfono...)	TELÉFONO: 983 423000 EXT. 5561 E-MAIL: juaase@tel.uva.es		
Horario de tutorías	Ver Tutorías en http://www.uva.es/export/sites/uva/2.docencia/2.01.grados/2.01.02.ofertaformativagrados/2.01.02.01.alfabetica/Grado-en-Ingenieria-de-Tecnologias-Especificas-de-Telecomunicacion/		
Departamento	TEORÍA DE LA SEÑAL Y COMUNICACIONES E INGENIERÍA TELEMÁTICA		



1. Situación / Sentido de la Asignatura

1.1 Contextualización

La calidad del servicio ofrecido por los servicios telemáticos (voz, TV, mensajería, juegos,...) depende, en gran medida, de las características de las redes de datos en las que se apoyan. Dichas redes han de ser capaces de “mover” los datos generados por los servicios mencionados entre localizaciones geográficamente distantes. Para el ingeniero telemático es de gran importancia poder determinar qué capacidades han de tener las redes de datos (y qué recursos necesitan para alcanzarlas) si se quiere alcanzar un determinado nivel de calidad de servicio en los servicios por ellas ofrecidos. Para conseguirlo, el ingeniero telemático, al igual que el ingeniero de otras disciplinas, necesita modelos matemáticos del funcionamiento de las redes de datos que le permitan evaluar cuantitativamente alternativas de diseño de las redes y la planificación de los recursos que éstas requieren. Dichos modelos también le permitirían diagnosticar problemas de rendimiento y encontrar posibles soluciones.

Esta asignatura introduce al estudiante en la Ingeniería de Teletráfico, entendida ésta como la disciplina que *“aplica la teoría de la probabilidad a la resolución de problemas relacionados con la planificación, evaluación de rendimiento, operación y mantenimiento de sistemas de telecomunicación”*¹. La ingeniería de teletráfico involucra multitud de técnicas, si bien únicamente se tratarán dos en esta asignatura: la Teoría de Colas y la Simulación. Dichas técnicas se han elegido porque los modelos en los que se basan son de una complejidad abordable por un estudiante de tercer curso de grado y porque permiten, a su vez, identificar/discutir/analizar los compromisos básicos que el ingeniero telemático ha de tener presentes a la hora de diseñar/planificar/evaluar/gestionar una red de datos.

1.2 Relación con otras materias

Esta asignatura está especialmente relacionada con “Ingeniería de protocolos” y “Conmutación y Encaminamiento”, puesto que proporciona una introducción a técnicas de análisis cuantitativo aplicables a los protocolos de comunicaciones en redes telemáticas los cuales son abordados en ellas de manera descriptiva y cualitativa.

1.3 Prerrequisitos

No existen condiciones previas excluyentes para cursar esta asignatura, aunque sí recomendaciones lógicas que el alumno debería tener en cuenta. Es recomendable haber cursado la materia “Fundamentos de protocolos, redes y servicios telemáticos” del “Bloque de Materias Básicas”. Además, es muy recomendable haber cursado la asignatura “Señales Aleatorias y Ruido” de la materia “Fundamentos de señales y sistemas” y las asignaturas “Ingeniería de Protocolos” y “Conmutación y Encaminamiento” del primer cuatrimestre del tercer curso.

¹ V.B. Iversen, *Teletraffic Engineering Handbook*, ITU-D SG 2/16, 2001. Accesible en: https://www.itu.int/ITU-D/study_groups/SGP_1998-2002/SG2/StudyQuestions/Question_16/RapporteursGroupDocs/teletraffic.pdf. Último acceso: junio 2016.



2. Competencias

2.1 Generales

- GBE1. Capacidad para manejar especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento.
- GBE2. Capacidad para aplicar métodos analíticos y numéricos para el análisis de problemas en el ámbito de la ingeniería técnica de Telecomunicación.
- GBE3. Capacidad para resolver problemas con iniciativa, creatividad y razonamiento crítico.
- GBE4. Capacidad para diseñar y llevar a cabo experimentos, así como analizar e interpretar datos.
- GBE5. Capacidad para elaborar informes basados en el análisis crítico de la bibliografía técnica y de la realidad en el campo de su especialidad.
- GE2. Capacidad para trabajar en un grupo multidisciplinar y multilingüe, responsabilizándose de la dirección de actividades objeto de los proyectos del ámbito de su especialidad y consiguiendo resultados eficaces.
- GC1. Capacidad de organización, planificación y gestión del tiempo.
- GC2. Capacidad para comunicar, tanto por escrito como de forma oral, conocimientos, procedimientos, resultados e ideas relacionadas con las telecomunicaciones y la electrónica.
- GC3. Capacidad para trabajar en cualquier contexto, individual o en grupo, de aprendizaje o profesional, local o internacional, desde el respeto a los derechos fundamentales, de igualdad de sexo, raza o religión y los principios de accesibilidad universal, así como la cultura de paz.

2.2 Específicas

- T14. Conocimiento de los métodos de interconexión de redes y encaminamiento, así como los fundamentos de la planificación, dimensionado de redes en función de parámetros de tráfico.
- TEL2. Capacidad para aplicar las técnicas en que se basan las redes, servicios y aplicaciones telemáticas, tales como sistemas de gestión, señalización y conmutación, encaminamiento y enrutamiento, seguridad (protocolos criptográficos, tunelado, cortafuegos, mecanismos de cobro, de autenticación y de protección de contenidos), ingeniería de tráfico (teoría de grafos, teoría de colas y teletráfico) tarificación y fiabilidad y calidad de servicio, tanto en entornos fijos, móviles, personales, locales o a gran distancia, con diferentes anchos de banda, incluyendo telefonía y datos.
- TEL3. Capacidad de construir, explotar y gestionar servicios telemáticos, utilizando herramientas analíticas de planificación, de dimensionado y de análisis.



3. Objetivos

Al finalizar la asignatura el alumno deberá ser capaz de:

- Enumerar y describir los parámetros fundamentales de una red telemática que caracterizan la calidad del servicio que ofrece.
- Enumerar, describir y comparar las soluciones de compromiso involucradas en el diseño de los protocolos y arquitecturas de comunicaciones de redes telemáticas.
- Enumerar, comparar y analizar las técnicas cuantitativas básicas involucradas en la planificación, dimensionamiento y análisis de redes y servicios telemáticos.
- Realizar de forma colaborativa un proyecto de optimización de parámetros de diseño de una red de comunicaciones mediante la utilización de técnicas analíticas y simulación. Documentar las decisiones tomadas y discutir la utilidad de las diferentes técnicas empleadas para apoyarlas.
- Utilizar herramientas de simulación comerciales para estimar los parámetros fundamentales que determinan la calidad del servicio de una red telemática.

4. Tabla de dedicación del estudiante a la asignatura

ACTIVIDADES PRESENCIALES	HORAS	ACTIVIDADES NO PRESENCIALES	HORAS
Clases teórico-prácticas (T/M)	20	Estudio y trabajo autónomo individual	60
Clases prácticas de aula (A)	0	Estudio y trabajo autónomo grupal	30
Laboratorios (L)	30		
Prácticas externas, clínicas o de campo	0		
Seminarios (S)	10		
Tutorías grupales (TG)	0		
Evaluación (fuera del periodo oficial de exámenes)	0		
Total presencial	60	Total no presencial	90



5. Bloques temáticos

Bloque 1: Introducción a la Ingeniería de Teletráfico

Carga de trabajo en créditos ECTS:

a. Contextualización y justificación

Este bloque consta de un único tema y proporciona una introducción a la Ingeniería de Teletráfico. Además de hacer un repaso breve a la evolución histórica de la disciplina, se intentará, mediante el estudio de un caso concreto trabajado de manera colaborativa, motivar la necesidad de su estudio e identificar qué aspectos de una red de datos intenta modelar y estudiar cuantitativamente. Por último, se presentarán y describirán los conceptos principales que engloba la ingeniería de tráfico y se presentarán y compararán las dos técnicas en las que la asignatura profundizará (Teoría de Colas y Simulación).

b. Objetivos de aprendizaje

Al finalizar este bloque temático, el alumno deberá ser capaz de:

- Identificar los hitos históricos fundamentales de la Ingeniería de Teletráfico, con especial énfasis en su influencia en la aparición y evolución de Internet.
- Relacionar los conceptos de tráfico, calidad de servicio, grado de servicio.
- Identificar qué elementos de una red de datos necesitan ser modelados para cuantificar el nivel de calidad que dicha red es capaz de ofrecer.
- Comparar las ventajas e inconvenientes de la aplicación de la Teoría de Colas y la Simulación al estudio cuantitativo de las características de una red de datos.

c. Contenidos

TEMA 1: Introducción a la Ingeniería de Teletráfico

- 1.1 Objetivos
- 1.2 Motivación: un caso de estudio
- 1.3 Qué es la Ingeniería de Teletráfico
- 1.4 Breve perspectiva histórica
- 1.5 Conceptos básicos de Ingeniería de Teletráfico
- 1.6 Técnicas de ingeniería de teletráfico: la Teoría de Colas y la Simulación
- 1.7 Resumen

d. Métodos docentes

- Clase magistral participativa
- Estudio de casos en aula y en laboratorio
- Aprendizaje colaborativo

e. Plan de trabajo

Véase el Anexo I.

f. Evaluación

La evaluación de la adquisición de competencias se basará en:

- Valoración de la actitud y participación del alumno en las actividades formativas.
- Informe realizado por grupos de alumnos sobre el caso práctico
- Prueba escrita al final del cuatrimestre.

g. Bibliografía básica

- J.J. Pazos, A. Suárez, R. Díaz, *Teoría de Colas y Simulación de Eventos Discretos*, Prentice-Hall, 2003.
- V.B. Iversen, *Teletraffic Engineering and Network Planning*, Technical University of Denmark, 2010.
Accesible en: ftp://ftp.dei.polimi.it/users/Flaminio.Borgonovo/Teoria/teletraffic_iversen.pdf. Último acceso: junio 2016.

h. Bibliografía complementaria

- L. Kleinrock, *Queueing Systems*, volúmenes 1 y 2, John Wiley, 1976.
- X. Xiao, Technical, *Commercial and Regulatory Challenges of QoS: an Internet Service Model Perspective*, Morgan Kaufmann, 2008.

i. Recursos necesarios

Serán necesarios los siguientes recursos, todos ellos facilitados por la UVa o el profesor:

- Entorno de trabajo en la plataforma Moodle ubicado en el Campus Virtual de la Universidad de Valladolid.
- Ordenadores y software específico para la realización del caso de estudio.
- Documentación de apoyo.

Bloque 2: Introducción a la Teoría de Colas

Carga de trabajo en créditos ECTS:

2,5

a. Contextualización y justificación

Este bloque presenta la primera de las técnicas cuantitativas presentadas en la asignatura: la Teoría de Colas. Para ello, y tras hacer una presentación de la teoría y describir el modelo general de un sistema de colas (incluyendo la caracterización probabilística de algunos de sus parámetros), se intentará que el alumno identifique qué elementos concretos de una red de datos se modelarán mediante este tipo de sistemas (básicamente memorias intermedias de un nodo de una red de datos). Una vez hecha la conexión entre la Teoría de Colas y las redes de datos, se llevará a cabo un recordatorio de algunos conceptos básicos de teoría de la probabilidad que se emplearán en la resolución matemática de las expresiones para parámetros de sistemas de colas en condiciones determinadas. Más concretamente, se recordarán las características básicas de los procesos estocásticos de Poisson y de Nacimiento y Muerte. Posteriormente, se particularizarán los resultados obtenidos en los desarrollos matemáticos anteriores a diversos modelos de tráfico (incluyendo modelos de espera y de pérdida). Por último, se hará una breve introducción a las redes de colas. Una vez



completada la presentación de la teoría de colas, se ilustrará su aplicación al campo de la ingeniería de teletráfico mediante la resolución de problemas.

b. Objetivos de aprendizaje

Al finalizar este bloque temático, el alumno deberá ser capaz de:

- Identificar qué aspectos de una red de datos pueden ser modelados mediante sistemas/redes de colas.
- Identificar los elementos principales de un sistema/red de colas y cómo estos se modelan matemáticamente.
- Comparar diversos tipos de modelos de sistemas/redes de colas.
- Identificar bajo qué condiciones son aplicables los modelos de sistemas/redes de colas tratados en la asignatura a problemas reales de redes de datos.
- Resolver problemas de planificación/dimensionamiento/diagnóstico de redes de datos mediante la aplicación de resultados de teoría de colas.

c. Contenidos

TEMA 2: Introducción a la Teoría de Colas

- 2.1 Objetivos, motivación, perspectiva histórica
- 2.2 Modelo general de un sistema de colas. Definición de parámetros básicos
- 2.3 Fórmula de Little
- 2.4 Procesos de Poisson. Definición y propiedades
- 2.5 Procesos de Nacimiento y Muerte. Definición y propiedades. Relación con procesos de Poisson y sistemas de colas
- 2.6 Resumen

TEMA 3: Modelos de tráfico

- 3.1 Objetivos
- 3.2 Notación de Kendall
- 3.3 Modelos: $M/M/1$, $M/M/m$, $M/M/m/m$, $M/M/m/m/N$, $M/M/m/k$, $M/G/1$
- 3.4 Resumen

TEMA 4: Redes de colas

- 4.1 Objetivos
- 4.2 Redes de colas: definición y clasificación
- 4.3 Resolución de redes de colas: procesos de Nacimiento y Muerte
- 4.4 Teoremas de Burke y de descomposición de Jackson
- 4.5 Resumen

d. Métodos docentes

Se empleará:

- Clase magistral participativa
- Resolución de problemas
- Aprendizaje colaborativo

e. Plan de trabajo



Véase el Anexo I.

f. Evaluación

La evaluación de la adquisición de competencias se basará en:

- Valoración de la actitud y participación del alumno en las actividades formativas.
- Entrega de problemas seleccionados resueltos de manera colaborativa.
- Prueba escrita al final del cuatrimestre.

g. Bibliografía básica

- J.J. Pazos, A. Suárez, R. Díaz, *Teoría de Colas y Simulación de Eventos Discretos*, Prentice-Hall, 2003.
- V.B. Iversen, *Teletraffic Engineering and Network Planning*, Technical University of Denmark, 2010. Accesible en: ftp://ftp.dei.polimi.it/users/Flaminio.Borgonovo/Teoria/teletraffic_iversen.pdf. Último acceso: junio 2016.

h. Bibliografía complementaria

- L. Kleinrock, *Queueing Systems*, volúmenes 1 y 2, John Wiley, 1976.

i. Recursos necesarios

Serán necesarios los siguientes recursos, todos ellos facilitados por la UVa o el profesor:

- Entorno de trabajo en la plataforma Moodle ubicado en el Campus Virtual de la Universidad de Valladolid.
- Documentación de apoyo.

Bloque 3: Simulación de redes de datos

Carga de trabajo en créditos ECTS:

2,5

a. Contextualización y justificación

Este bloque presenta la segunda de las técnicas cuantitativas presentadas en la asignatura: la simulación de redes de datos. La simulación se empleará en esta asignatura para un doble propósito:

- ilustrar el funcionamiento de protocolos estudiados en asignaturas anteriores. Más concretamente se ilustrará cómo un simulador de redes de datos permite estudiar aspectos del protocolo TCP (por ejemplo el control de congestión) que son más difíciles de analizar mediante la captura de tráfico de redes reales (método empleado en la asignatura "Ingeniería de Protocolos"). Esta aproximación, además, permitirá al alumno tomar contacto con algunas técnicas de simulación básicas como es la de simulación mediante barrido de parámetros.
- estimar el valor de parámetros de funcionamiento de redes de datos bajo condiciones aleatorias. En este sentido, se pueden analizar las ventajas e inconvenientes de la Simulación con respecto al empleo de técnicas analíticas y, más concretamente, con respecto a la Teoría de Colas.

b. Objetivos de aprendizaje



Al finalizar este bloque temático, el alumno deberá ser capaz de:

- Diseñar, realizar y analizar simulaciones de barrido de parámetros para el análisis del comportamiento de mecanismos de protocolos de redes de datos.
- Diseñar, realizar y analizar simulaciones de redes de datos bajo condiciones aleatorias con el objetivo de estimar, y poder optimizar en su caso, parámetros de calidad de redes de datos.
- Enumerar ventajas e inconvenientes del uso de simuladores de redes de datos con respecto al empleo de técnicas analíticas.

c. Contenidos

TEMA 5: Introducción a la simulación de redes de datos

- 5.1 Objetivos
- 5.2 Qué es simular. Alternativas. Comparación
- 5.3 Modelos de simulación
- 5.4 Tipos de simuladores. Ejemplos.
- 5.5 Introducción al simulador ns-3
- 5.6 Resumen

TEMA 6: Simulación y estimación. Comparación con la Teoría de Colas

- 6.1 Objetivos
- 6.2 Ámbito y técnicas de inferencia estadística
- 6.3 Estimadores de la media. Intervalos de confianza
- 6.4 Teoría de colas y simulación
- 6.5 Resumen

TEMA 7: Simulación de mecanismos de control de congestión de TCP

- 7.1 Objetivos
- 7.2 Barridos de parámetros. Diseño de simulaciones
- 7.3 Mecanismos: *slow start*, *congestion avoidance*, *fast-retransmit/fast-recovery*
- 7.4 Resumen

PRÁCTICA 1: Introducción al simulador de redes ns-3

PRÁCTICA 2: Teoría de Colas y simulación con ns-3

PRÁCTICA 3: Simulación de mecanismos de control de congestión en TCP con ns-3

d. Métodos docentes

Se empleará:

- Clase magistral participativa
- Aprendizaje colaborativo
- Estudio de casos en laboratorio

e. Plan de trabajo

Véase el Anexo I.

f. Evaluación



La evaluación de la adquisición de competencias se basará en:

- Valoración de la actitud y participación del alumno en las actividades formativas.
- Elaboración de actas de las sesiones de trabajo en laboratorio.
- Informes de laboratorio realizados de manera colaborativa.
- Presentaciones orales.
- Prueba escrita al final del cuatrimestre.

g. Bibliografía básica

- J.J. Pazos, A. Suárez, R. Díaz, *Teoría de Colas y Simulación de Eventos Discretos*, Prentice-Hall, 2003.
- W. Navidi, *Statistics for Engineers and Scientists*, 3rd Edition, McGraw-Hill, 2011.

h. Bibliografía complementaria

- B. Rosner. *Fundamentals of Biostatistics*, 7th Edition, Brooks/Cole, Cengage Learning, 2011.

i. Recursos necesarios

Serán necesarios los siguientes recursos, todos ellos facilitados por la UVa o el profesor:

- Entorno de trabajo en la plataforma Moodle ubicado en el Campus Virtual de la Universidad de Valladolid.
- Ordenadores y software específico para la realización de las prácticas.
- Documentación de apoyo.

6. Temporalización (por bloques temáticos)

BLOQUE TEMÁTICO	CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
Bloque 1: Introducción a la Ingeniería de Teletráfico	1 ECTS	Semanas 1 a 3
Bloque 2: Introducción a la Teoría de Colas	2.5 ECTS	Semanas 3 a 15
Bloque 3: Simulación de redes de datos	2.5 ECTS	Semanas 3 a 15

7. Sistema de calificaciones – Tabla resumen

INSTRUMENTO/PROCEDIMIENTO	PESO EN LA NOTA FINAL	OBSERVACIONES
Valoración individual y supervisión del trabajo del alumno en las diferentes actividades presenciales	5%	Se valorará la participación activa del alumno en las actividades presenciales, en la elaboración de actas de trabajo en sesiones de laboratorio y en la resolución de problemas (con énfasis en las sesiones de seminario). Para superar la asignatura es condición necesaria (pero no suficiente) obtener al menos un 5,0 sobre 10,0 en este instrumento.
Valoración grupal de informes de prácticas de laboratorio y resolución de problemas	30%	Para superar la asignatura es condición necesaria (pero no suficiente) sacar al menos un 5,0 sobre 10,0 en la nota promediada de los informes de las prácticas de laboratorio y en la resolución de problemas seleccionados.
Valoración individual de presentaciones orales	10%	Para superar la asignatura es condición necesaria (pero no suficiente) participar en este procedimiento de evaluación.
Valoración grupal de presentaciones orales	5%	Se tendrá en cuenta tanto la valoración por parte del profesor como del resto de miembros del grupo de trabajo.
Examen final escrito	50%	Para superar la asignatura es condición necesaria (pero no suficiente) sacar al menos un 5,0 sobre 10,0 en el examen.

En el caso de que un alumno no alcance la calificación mínima fijada en alguno de los apartados, su calificación global se calculará teniendo en cuenta únicamente la nota del o de los apartados en los que no se alcanza dicho mínimo.

En el caso de la **convocatoria extraordinaria**:

- Sobre el “Examen final escrito”, se mantiene la calificación obtenida por el alumno siempre que su calificación sea superior a 5,0 puntos sobre 10,0. Si aún teniendo una nota superior a 5,0 puntos, el alumno se presenta a un nuevo examen escrito, la nota obtenida en este último será la tenida en cuenta



para la convocatoria extraordinaria. El alumno que no alcance una calificación mínima de 5,0 sobre 10,0 en el “Examen final escrito” de la convocatoria extraordinaria, obtendrá una calificación global igual a la nota obtenida en dicho examen.

- Sobre la calificación de los instrumentos diferentes a “Examen final escrito”:
 - Si la calificación obtenida en la convocatoria ordinaria de “Valoración grupal de informes de prácticas de laboratorio y resolución de problemas” y “Valoración individual y supervisión del trabajo del alumno en las diferentes actividades presenciales” fue superior a 5 puntos sobre 10 y se participó en el procedimiento “Valoración individual de presentaciones orales”, se mantiene la calificación de todos los instrumentos diferentes a “Examen final escrito” en la convocatoria extraordinaria (con los mismos pesos en la calificación global que en la convocatoria ordinaria).
 - Si la calificación obtenida en la convocatoria ordinaria de “Valoración grupal de informes de prácticas de laboratorio y resolución de problemas” fue inferior a 5 puntos sobre 10 y la calificación obtenida en la convocatoria ordinaria de “Valoración individual y supervisión del trabajo del alumno en las diferentes actividades presenciales” fue al menos de 5 puntos sobre 10, el alumno tiene la posibilidad de presentar un informe individual sobre la resolución de un supuesto práctico planteado por el profesor. La calificación de dicho informe supondrá un 20% de la calificación global de la convocatoria extraordinaria, siempre y cuando la calificación obtenida sea de al menos 5 puntos sobre 10. Se mantendrá la calificación obtenida en la convocatoria ordinaria de los instrumentos “Valoración individual y supervisión del trabajo del alumno en las diferentes actividades presenciales”, “Valoración individual de presentaciones orales” y “Valoración grupal de presentaciones orales” con el mismo peso en la calificación global que en la convocatoria ordinaria.
 - Si la calificación obtenida en la convocatoria ordinaria de “Valoración individual y supervisión del trabajo del alumno en las diferentes actividades presenciales” fue inferior a 5 puntos sobre 10, la calificación de “Valoración grupal de informes de prácticas de laboratorio y resolución de problemas” y “Valoración individual y supervisión del trabajo del alumno en las diferentes actividades presenciales” en la convocatoria extraordinaria será 0. Se mantendrá la calificación obtenida en la convocatoria ordinaria de los instrumentos “Valoración individual de presentaciones orales” y “Valoración grupal de presentaciones orales”.

8. Consideraciones finales

El Anexo I mencionado en la guía, donde se describe la planificación detallada, se entregará al comienzo de la asignatura.