



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

PROCESO DE
COORDINACIÓN DE LAS
ENSEÑANZAS PR/CL/001

Escuela Politécnica de
Enseñanza Superior

ANX-PR/CL/001-01

GUÍA DE APRENDIZAJE

ASIGNATURA

305000107 - Modelización Y Simulación I

PLAN DE ESTUDIOS

30GM - Grado En Matematicas

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2023/24 - Segundo semestre

Índice

Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	2
5. Descripción de la asignatura y temario.....	5
6. Cronograma.....	11
7. Actividades y criterios de evaluación.....	13
8. Recursos didácticos.....	17

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	305000107 - Modelización y Simulación I
No de créditos	6 ECTS
Carácter	Básica
Curso	Primer curso
Semestre	Segundo semestre
Período de impartición	Febrero-Junio
Idioma de impartición	Castellano
Titulación	30GM - Grado en Matematicas
Centro responsable de la titulación	30 - Escuela Politecnica De Enseñanza Superior
Curso académico	2023-24

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
Bartolome Luque Serrano (Coordinador/a)		bartolome.luque@upm.es	Sin horario. El profesor indicará el horario de tutorías al comienzo de curso.
Miguel Angel Martin Martin		miguelangel.martin@upm.es	Sin horario. El profesor indicará el horario de tutorías al comienzo de curso.

* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

3. Conocimientos previos recomendados

3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

- Álgebra Lineal
- Programación
- Cálculo En Una Variable
- Fundamentos De Matemáticas

3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- Comprensión lectora en inglés

4. Competencias y resultados de aprendizaje

4.1. Competencias

CB1 - Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio

CB2 - Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio

CB3 - Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética

CB4 - Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado

CB5 - Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía

CE1 - Comprender y utilizar el lenguaje matemático. Adquirir la capacidad para enunciar propiedades en distintos campos de la Matemática, para construir argumentaciones, elaborar cálculos y para transmitir los conocimientos matemáticos adquiridos.

CE3 - Asimilar la definición de un nuevo objeto matemático, en términos de otros ya conocidos, y ser capaz de utilizar este objeto en diferentes contextos.

CE4 - Abstractar las propiedades estructurales de objetos matemáticos, de la realidad observada o de otros ámbitos distinguiéndolas de aquellas puramente ocasionales.

CE5 - Comprobar con demostraciones hipótesis sobre un objeto matemático o refutarlas con contraejemplos, así como identificar errores en razonamientos incorrectos.

CE6 - Proponer, analizar, validar e interpretar modelos matemáticos de sistemas reales, utilizando las herramientas matemáticas más adecuadas a los fines que se persigan, explicitando las características del sistema recogidas en el modelo y las no consideradas en el mismo.

CE7 - Resolver problemas de Matemáticas, mediante habilidades de cálculo básico y tecnologías de computación, planificando su resolución en función de las herramientas de que se disponga y de las restricciones de tiempo y recursos.

CE8 - Utilizar aplicaciones informáticas de análisis estadístico, cálculo numérico y simbólico, visualización gráfica, optimización u otras para experimentar en Matemáticas, buscar soluciones y resolver modelos matemáticos de sistemas reales.

CE9 - Desarrollar programas que ejecuten algoritmos de resolución de modelos matemáticos o aproximación numérica a la solución utilizando para cada caso el entorno computacional adecuado.

CG1 - Identificar la naturaleza, métodos y fines de los distintos campos de la Matemática y asociarlos con cierta perspectiva histórica de su desarrollo.

CG2 - Reconocer la presencia de la Matemática subyacente en la Naturaleza, en la Ciencia, en la Tecnología y en el Arte. Reconocer a la Matemática como parte integrante de la Educación y la Cultura.

CG3 - Utilizar las capacidades analíticas y de abstracción, la intuición y el pensamiento lógico y riguroso desarrolladas a través del estudio de la Matemática en contextos tanto matemáticos como no matemáticos.

CG4 - Utilizar los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en la definición y planteamiento de problemas y en la búsqueda de sus soluciones tanto en contextos académicos como profesionales.

CG5 - Sintetizar conocimientos y habilidades adquiridas en el campo de la matemática en diferentes materias del plan de estudios para enfocarlas en posteriores estudios especializados, tanto en una disciplina matemática como en cualquiera de las ciencias que requieran buenos fundamentos matemáticos.

CT1 - Trabajar dentro de un equipo, en entornos interdisciplinares y complejos, negociando y resolviendo conflictos, diseñando soluciones eficientes, fiables, robustas y responsables.

4.2. Resultados del aprendizaje

RA69 - Analizar la sensibilidad de un modelo sencillo respecto a un parámetro.

RA71 - Plantear un modelo matemático a un problema aplicado sencillo.

RA15 - Idear algoritmos eficientes para resolver problemas científico-técnicos de complejidad variada.

RA68 - Distinguir modelos lineales de no lineales y continuos de discretos.

RA66 - Resolver e interpretar el resultado de un modelo matemático de un problema aplicado sencillo.

RA70 - Programar algoritmos sencillos de resolución de modelos matemáticos con las habilidades de programación adquiridas en la asignatura de programación.

RA64 - Enumerar los elementos básicos de un modelo y las fases de su realización.

RA67 - Reconocer los límites de aplicación de un modelo dado.

RA16 - Implementar códigos que hagan uso de la programación modular y las estructuras de datos adecuadas al problema.

RA18 - Dadas unas especificaciones, diseñar e implementar un programa acompañado de pruebas de validación y la documentación pertinente.

RA132 - Realizar e interpretar simulaciones de modelos matemáticos sencillos mediante el lenguaje de programación adquirido en la asignatura de programación.

5. Descripción de la asignatura y temario

5.1. Descripción de la asignatura

Esta asignatura tiene tres objetivos principales:

(1) Que los alumnos aprendan a elaborar modelos de sistemas reales y a simularlos con los conocimientos matemáticos que han adquirido en el primer cuatrimestre y van adquiriendo a lo largo del segundo.

(2) Que los alumnos puedan usar la modelización como los astrónomo usan el telescopio o los biólogos el microscopio, tanto para analizar sistemas reales, como las propias matemáticas (matemática experimental).

(3) Que los alumnos vean que modelos sencillos pueden generar una enorme complejidad y que son necesarios enfoques distintos al cartesiano para enfrentarlos (ciencias de la complejidad).

Nuestros potenciales estudiantes han ejercitado un gran número de rutinas en el bachillerato, en su mayoría, disociadas de problemas reales. La enseñanza de la matemática no debe quedarse en el simple aprendizaje de técnicas y consiguientes rutinas, ni tampoco, obsesionarse con la demostración sin fisuras a golpe de pizarras llenas que terminan con cqd. Un grado de matemáticas que pretende ser distintivo debe impregnarse desde un principio de una visión interdisciplinar/multidisciplinar del quehacer científico/tecnológico y conseguir un equilibrio o, al menos sentido de medida, entre motivación, fundamentación, adquisición de técnicas básicas y su aplicabilidad en un espíritu científico/tecnológico de concepción amplia.

En el primer semestre es esperable que esos estudiantes adquieran una visión más fundamentada y profunda de Cálculo Diferencial e Integral, así como de Álgebra Lineal y Fundamentos de la Matemática. Posiblemente podrán recibir aplicaciones directas a problemas reales directamente relacionados con el cuerpo de doctrina que se les ha explicado. La asignatura de MyS-I en el segundo semestre, además de convertirse en una aplicación directa de esos conocimientos, es una gran oportunidad para imprimir una actitud distinta al binomio clásico teoría/aplicación, encarando los problemas de la realidad con un cambio de mirada. Esto significa que esta primera asignatura de modelización tiene retos de naturaleza distinta a los que los alumnos han venido aprendiendo.

Esta asignatura (y las materias homónimas en los semestres 4 y 6) pretende que el alumno aprenda a elaborar modelos de sistemas reales y a simularlos. Para ello se estudiarán sistemas reales extraordinariamente atractivos desde el punto de vista científico, que han sido analizados por las ciencias de la complejidad y la matemática experimental. Con ellos se pretende transmitir los ingredientes y dificultades fundamentales del trabajo de modelización, así como la imposibilidad de modelizaciones "perfectas".

Para que los alumnos perciban la simulación como un instrumento de extraordinaria potencia, la asignatura comienza con una serie de modelos famosos en economía, sociología y ecología utilizando sencillas leyes de recurrencia junto con conocimientos de Álgebra Lineal y Cálculo en una variable adquiridos en el primer cuatrimestre.

En el segundo bloque se presenta la geometría fractal. Los fractales, ausentes en los programas educativos, se aplican a multitud de disciplinas para caracterizar tanto estructuras como procesos autosemejantes y su simulación es muy sencilla. En este bloque se hace necesario Programación y Cálculo de una variable, asignaturas del primer cuatrimestre, junto con rudimentos de Geometría y Álgebra lineal que se proporcionan en el mismo segundo cuatrimestre.

El tercer bloque se dedica a un excelente modelo para ilustrar la potencia de los sistemas dinámicos discretos: la logística. El estudio de este mapa nos descubre el caos determinista y revela la complejidad dinámica que puede emerger de sencillas no linealidades, sin necesidad de emplear más matemáticas que las ya adquiridas en el primer cuatrimestre en Álgebra lineal y Cálculo en una variable, y ciertos conocimientos de Cálculo numérico del segundo.

En el cuarto bloque se presentan los autómatas celulares, una herramienta de simulación extremadamente sencilla de implementar en un ordenador que, a pesar de su sencillez, permiten ilustrar conceptos como emergencia, complejidad y computación o simular desde un genoma hasta un sistema de ecuaciones.

En el quinto bloque, presentaremos una exposición elemental sobre teoría de la probabilidad, métodos de Montecarlo, modelos estocásticos y cadenas de Markov.

En el sexto bloque, presentaremos modelos de transiciones de fase paradigmáticos en diferentes áreas de la ciencia, que ilustran la potencia y la universalidad de los métodos de modelización en sistemas complejos. Se introducen además métodos de simulación más sofisticados de programar al incluir agentes en movimiento. La base teórica no requiere nuevos conocimientos matemáticos más allá de los adquiridos en Cálculo en una variable.

En el último bloque, dedicado a redes, los alumnos descubren los efectos que puede provocar la mera topología de las interacciones dictada por una red sobre la que evoluciona la dinámica. Si bien en este bloque se trabaja con el concepto de grafo que se introduce en segundo, en la asignatura de Matemática discreta, no vemos que sea un problema adelantar los conceptos elementales, y más, teniendo en cuenta que han cursado Álgebra lineal y que aquí trabajaremos básicamente con matrices y autovalores.

Esta asignatura se beneficiará especialmente de métodos docentes con una implicación muy activa de los estudiantes como el aprendizaje basado en proyectos.

Ejemplos de las prácticas que se irán proponiendo a lo largo del curso son:

Implementación del juego de la Vida.

Implementación de autómatas celulares 1D.

Programación del método box-counting.

Estimación de dimensión de información.

Simulación mediante IFS.

Simulación de las diferentes dinámicas de la logística y de la sensibilidad a las condiciones iniciales.

Implementación del modelo de Nagel, voids, modelo de Ising o la pila de arena.

Programación del algoritmo de PageRank.

5.2. Temario de la asignatura

1. Modelización en Economía, Ciencias Sociales y Ecología
 - 1.1. Leyes de recurrencia en sistemas evolutivos (sistemas dinámicos)
 - 1.2. Modelos en Ecología
 - 1.3. Modelos de interacción entre especies y grupos poblacionales
2. Modelización de formas, distribuciones y procesos irregulares mediante Geometría Fractal.
 - 2.1. Escenarios y fuentes de irregularidad en la naturaleza (árboles, nubes, suelo, costas e interfases)
 - 2.2. Modelización de la irregularidad en formas y procesos de la Naturaleza: los conjuntos fractales.
 - 2.3. Dimensión fractal.
 - 2.4. El juego del caos: Sistemas de funciones iteradas (IFS) e IFS probabilistas.
 - 2.5. La medida de la incertidumbre: dimensión de información.
 - 2.6. Modelos fractales en diversos escenarios y su aplicación práctica.
3. Modelos deterministas simples de naturaleza caótica
 - 3.1. La logística como modelo en dinámica de poblaciones.
 - 3.2. Análisis y simulación del modelo.
 - 3.3. Análisis de la predictibilidad y sus consecuencias.
 - 3.4. Aleatoriedad intrínseca en sistemas caóticos.
 - 3.5. Rutas hacia el caos.
 - 3.6. Atractores extraños.
4. Autómatas celulares
 - 4.1. El juego de la Vida de Conway

- 4.2. Computación en Vida
- 4.3. Autómatas elementales 1D
- 4.4. Redes booleanas aleatorias
- 4.5. Aplicaciones de los autómatas celulares
- 5. Procesos estocásticos
 - 5.1. Teoría elemental de la probabilidad
 - 5.2. Procesos multiplicativos
 - 5.3. Cadenas de Markov
- 6. Modelos universales: Transiciones de fase
 - 6.1. El paradigmático modelo de Ising
 - 6.2. Exponentes y universalidad
 - 6.3. Aproximación de campo medio
 - 6.4. Percolación y renormalización geométrica
 - 6.5. Modelos de agentes: Tráfico y movimiento colectivo
 - 6.6. La sopa de números primos: un ejemplo de transición de fase en teoría de números
 - 6.7. El patrón Easy-Hard-Easy: transiciones algorítmicas
 - 6.8. La pila de arena
 - 6.9. Criticalidad auto-organizada en teoría de números: conjuntos primitivos
- 7. La topología de los modelos: Redes complejas
 - 7.1. Conceptos básicos de redes
 - 7.2. Redes aleatorias y modelo de Erdős-Rényi
 - 7.3. Redes de mundo pequeño
 - 7.4. Redes libres de escala
 - 7.5. Epidemias en Internet
 - 7.6. PageRank

6. Cronograma

6.1. Cronograma de la asignatura *

Sem	Actividad en aula	Actividad en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	Presentación de la asignatura MA: AF1-AF2 Epígrafes 1.1-1.3 Duración: 03:00 OT: Otras actividades formativas	MD4 Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		Entregas de prácticas, ejercicios y pruebas escritas a lo largo de todo el curso. OT: Otras técnicas evaluativas Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:00
2	MA: AF1-AF2-MD4 Epígrafes 2.1-2.2 Duración: 03:00 OT: Otras actividades formativas	Simulación Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
3	MA: AF1-AF2-MD4 Epígrafe 2.3-2.4 Duración: 5h Duración: 03:00 OT: Otras actividades formativas	Simulación Duración: 02:00 OT: Otras actividades formativas		
4	MA: AF1-AF2-MD4 Epígrafe 2.5-2.6 Duración: 03:00 OT: Otras actividades formativas	Simulación Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
5	MA: AF1-AF2-MD4 Epígrafe 3.1-3.2 Duración: 03:00 OT: Otras actividades formativas	Simulación Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
6	MA: AF1-AF2-MD4 Epígrafe 3.3-3.4 Duración: 5h Duración: 03:00 OT: Otras actividades formativas	Simulación Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
7	MA: AF1-AF2-MD4 Epígrafe 3.5-3.6 Duración: 03:00 OT: Otras actividades formativas	Simulación Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
8	BL: AF1-AF2-MD4 Epígrafe 4.1-4.3 Duración: 03:00 OT: Otras actividades formativas	Simulación Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
9	BL: AF1-AF2-MD4 Epígrafe 4.4-4.5 Duración: 03:00 OT: Otras actividades formativas	Simulación Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		Prueba escrita EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 02:00
10	BL: AF1-AF2-MD4 Epígrafes 5.1-5.3 Duración: 03:00 OT: Otras actividades formativas	Simulación Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		

11	BL: AF1-AF2-MD4 Epígrafes 6.1-6.3 Duración: 03:00 OT: Otras actividades formativas	Simulación Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
12	BL: AF1-AF2-MD4 Epígrafes 6.4-6.6 Duración: 03:00 OT: Otras actividades formativas	Simulación Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
13	BL: AF1-AF2-MD4 Epígrafes 7.1-7.2 Duración: 03:00 OT: Otras actividades formativas	Simulación Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
14	BL: AF1-AF2-MD4 Epígrafes 7.3-7.4 Duración: 03:00 OT: Otras actividades formativas	Simulación Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
15	BL: AF1-AF2-MD4 Epígrafes 7.5-7.6 Duración: 03:00 OT: Otras actividades formativas	Simulación Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		Simulación y análisis de un modelo complejo. PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:00
16				Prueba práctica EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 02:00
17				

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

7. Actividades y criterios de evaluación

7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

7.1.1. Evaluación (progresiva)

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
1	Entregas de prácticas, ejercicios y pruebas escritas a lo largo de todo el curso.	OT: Otras técnicas evaluativas	Presencial	00:00	30%	3 / 10	CB1 CB2 CB3 CB4 CB5 CG1 CG5 CG2 CG3 CG4 CT1 CE1 CE3 CE4 CE5 CE6 CE7 CE8 CE9
9	Prueba escrita	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	20%	3 / 10	
15	Simulación y análisis de un modelo complejo.	PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo	Presencial	00:00	30%	5 / 10	CG1 CG5 CG2 CG3 CG4 CT1 CE3 CE4 CE5 CE6 CE7 CE8 CE9

16	Prueba práctica	EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas	Presencial	02:00	20%	3 / 10	CB1 CB5 CG3 CG4 CE1 CE5 CE6 CE7 CE9
----	-----------------	--	------------	-------	-----	--------	---

7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
1	Entregas de prácticas, ejercicios y pruebas escritas a lo largo de todo el curso.	OT: Otras técnicas evaluativas	Presencial	00:00	30%	3 / 10	CB1 CB2 CB3 CB4 CB5 CG1 CG5 CG2 CG3 CG4 CT1 CE1 CE3 CE4 CE5 CE6 CE7 CE8 CE9
9	Prueba escrita	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	20%	3 / 10	
15	Simulación y análisis de un modelo complejo.	PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo	Presencial	00:00	30%	5 / 10	CG1 CG5 CG2 CG3 CG4 CT1 CE3 CE4 CE5 CE6 CE7 CE8 CE9

16	Prueba práctica	EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas	Presencial	02:00	20%	3 / 10	CB1 CB5 CG3 CG4 CE1 CE5 CE6 CE7 CE9
----	-----------------	--	------------	-------	-----	--------	---

7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Examen final escrito.	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	100%	5 / 10	CB2 CB3 CB4 CB5 CG1 CG5 CG2 CG3 CG4 CT1 CE1 CE3 CE4 CE5 CE6 CE7 CE8 CE9

7.2. Criterios de evaluación

La evaluación continua constará de dos partes:

(1) Una serie de prácticas, ejercicios y pruebas escritas a lo largo de todo el curso: programación y análisis de modelos sencillos, implementación de algunas medidas como la dimensión fractal, lecturas obligatorias sobre las que los alumnos redactarán resúmenes y comentarios, entrega de ejercicios propuestos, con un peso del 30% de la nota final.

(2) Los alumnos deberán realizar la simulación y análisis de un modelo complejo, donde aplicarán gran parte de los conceptos adquiridos en función del tema que escojan. El trabajo se realizará en grupos de tres componentes, y a parte de su redacción y presentación escrita, se expondrá públicamente para su discusión a lo largo de las dos últimas semanas del curso. Con un peso del 20% de la nota final.

(3) Un examen escrito y una práctica con un 20% de peso cada uno.

La convocatoria extraordinaria será un examen escrito.

8. Recursos didácticos

8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
El universo matemático de Martin Gardner. Juegos, acertijos, paradojas y otras maravillas recreativas. JULIO/SEPTIEMBRE 2014 · Nº 77. Monográficos de Investigación y Ciencia.	Bibliografía	-
-Winning Ways: for Your Mathematical Plays, Vol. 4. Elwyn R. Berlekamp, John H. Conway, Richard K. Guy, AK Peters; 2nd edition (March 30, 2004).	Bibliografía	
A New Kind of Science. Stephen Wolfram. Wolfram Media Inc; Illustrated edición (1 agosto 2002).	Bibliografía	
Matemáticas Bioenriquecidas. Martín M.A. Autor-editor, 2013. -Introduction to Dynamical Systems. D. Luemberger. John Willey and Sons, 1979.	Bibliografía	
Estructuras Fractales y Aplicaciones. Guzmán M., Martín M.A., Morán M. y Reyes M. Editorial Labor. Barcelona 1993.	Bibliografía	
Phase Transitions. Ricard V. Solé. Princeton University Press (2011). -Fluctuations and scaling in biology. Tamás Vicsek. Oxford University Press (2001).	Bibliografía	

<p>Fronteras de la Física en el Siglo XXI. Octavio Miramontes y Karen Volke, 2013. Coplt ArXives, Mexico. (Acceso libre on-line). -Redes complejas: Del genoma a Internet. Ricard Solé. Tusquets Editores S.A. (27 septiembre 2016).</p>	<p>Bibliografía</p>	
<p>Networks: A Very Short Introduction. Guido Caldarelli. OUP Oxford; Illustrated edición (25 octubre 2012). -Fractals, Chaos, Power Laws: Minutes from an Infinite. Manfred R Schroeder. Dover Publications Inc. (1 enero 2009).</p>	<p>Bibliografía</p>	
<p>Chaos and Fractals: New Frontiers of Science. Heinz-Otto Peitgen, Hartmut Jürgens and Dietmar Saupe. Springer (27 mayo 2012). -Iniciación al caos. Martín M.A., Morán M. y Reyes M. Ed. Síntesis, 1995.</p>	<p>Bibliografía</p>	