



Guía Didáctica - MASTER

ASIGNATURA: Algoritmos de optimización

Título: Máster en Inteligencia Artificial

Módulo:

Créditos: 6 ECTS

Código: 03MAIR

Curso: 2020-21

Índice

1. Organización general.....	3
1.1.Datos de la asignatura.....	3
1.2.Equipo docente.....	3
1.3.Introducción a la asignatura.....	4
1.4.Competencias y resultados de aprendizaje.....	4
2. Contenidos/temario.....	5
3. Planificación de las sesiones.....	7
4. Elementos del Campus virtual.....	8
5. Metodología.....	9
6. Evaluación.....	11
Sistema de evaluación.....	11
Sistema de calificación.....	11
Tipo de prueba de evaluación final.....	12
Convocatorias.....	12
6. Actividades formativas.....	13
Foros.....	13
Actividades Guiadas.....	14
Seminarios.....	17
7. Bibliografía.....	19

1. Organización general

1.1. Datos de la asignatura

Datos de la asignatura

MATERIA	Matemáticas
ASIGNATURA	Algoritmos de Optimización 6 ECTS
Carácter	Obligatorio
Curso	2020
Cuatrimestre	Primero
Idioma en que se imparte	Castellano
Requisitos previos	No existen
Dedicación al estudio recomendada por ECTS	25 horas

1.2. Equipo docente

Profesor	Dr. / D. Raúl Rejero Diez <i>Licenciado en Matemáticas</i> raul.rejero@campusviu.es
-----------------	---

1.3. Introducción a la asignatura

El diseño de algoritmos es una de las bases de las ciencias de la computación y por tanto de la Inteligencia Artificial. El análisis y optimización de algoritmos resulta fundamental para una mayor eficiencia y precisión en tareas de cálculo, estimación, modelado, etc.

Los algoritmos también son importantes en las herramientas para el procesamiento de información en varias disciplinas.

La asignatura trata de proporcionar información, tanto teórica como práctica, de diferentes técnicas de diseño algoritmos, junto con conocimientos para analizar y medir su eficiencia.

Durante la asignatura se abordan las principales técnicas de diseño de algoritmos exactos (divide y vencerás, algoritmos voraces, algoritmos de búsqueda en grafos y programación dinámica) y metaheurísticas, analizando sus características generales, ventajas e inconvenientes.

1.4. Competencias y resultados de aprendizaje

COMPETENCIAS GENERALES

CG5: Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS DE LA ASIGNATURA

CE1. Dominio de técnicas avanzadas en machine learning y optimización.

CE4. Capacidad para usar algoritmos de búsqueda heurística y entender su papel para abordar problemas de optimización.

CE6. Comprensión de los complejos fundamentos matemáticos en optimización computacional.

RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Al finalizar esta asignatura se espera que el estudiante sea capaz de:

RA.1.- Conocer los conceptos básicos de la complejidad computacional numérico

RA.2.- Conocer y aplicar técnicas básicas de algoritmos deterministas

RA.3.- Conocer y aplicar la técnica del descenso del gradiente

RA.4.- Conocer y aplicar técnicas metaheurísticas

2. Contenidos/temario

Tema 1. Introducción a los algoritmos

Introducción del concepto de algoritmo y por qué debemos estudiarlos tanto desde un punto de vista prácticos como teórico. Algunas referencias históricos permiten incorporar algoritmos sencillos que usamos a menudo sin darnos cuenta.

Se realiza una clasificación de los tipos de algoritmos desde diferentes puntos de vista(estructura y tipos de solución), una identificación de las propiedades de los algoritmos(finitud y precisión) y sus partes.

A través de la definición e introducción de modelo matemático se define el concepto de optimización y establecemos la clasificación principal en mono-objetivo y multi-objetivo.

Se establecen las fases principales para abordar la resolución de problemas a través del diseño de algoritmos con un ejemplo práctico.

Introducción del concepto de complejidad computacional e introducción a la notación Big O.

Tema 2. Algoritmos de ordenación

Se realiza un repaso con los algoritmos más importantes de ordenación realizando prácticas con ellos y relacionando su importancia en la resolución de problemas que a priori no parecen de ordenación.

Tema 3. Técnicas de diseño de algoritmos

Se definen las técnicas más conocidas y utilizadas para la resolución de problemas con algoritmos deterministas con prácticas : técnicas voraces, técnica de divide y vencerás, programación dinámica, programación lineal y uso de grafos.

Tema 4. Problemas tipo

Se introducen algunos problemas tipo como el problema del agente viajero o el problema de la mochila para relacionarlos con problemas reales que en realidad son de alguno de estos tipos.

Tema 5. Algoritmos de búsqueda

Se introducen los algoritmos de búsqueda sobre grafos más importantes(A*, búsqueda en amplitud y profundidad y ramificación y poda) y se estudia la manera de modelar problemas para que puedan ser aplicados dichos algoritmos.

Tema 6. Descenso del gradiente

Se introduce el concepto matemático para la resolución de problemas de optimización sobre variables continuas y su importancia en el ajuste de parámetros de Redes Neuronales.

Tema 7. Métodos heurísticos y metaheurísticos

Se introduce el concepto de la heurística para la resolución de problemas que no son abordables por las técnicas deterministas estudiadas en la primera parte resolviendo problemas prácticos con algunas de estas técnicas(búsquedas locales y aleatorias,*Simulated annealing*, GRASP o colonia de hormigas)

Tema 7. Algoritmos evolutivos y genéticos

Dentro de las técnicas heurísticas y por su importancia en los últimos años se estudian con más detalle los algoritmos evolutivos y genéticos y se realiza la resolución un caso práctico usando dichas técnicas.

3. Planificación de las sesiones

Algoritmos de Optimización			
Tema	Fecha	Horario	SESIÓN
Tema 1	31/11/2020	20:00 a 22:00	Sesión 1 Tutoría Colectiva Inicial Introducción a los algoritmos
Tema 2 Tema 3	02/12/2020	20:00 a 22:00	Sesión 2 Algoritmos de ordenación Técnicas de diseño de algoritmos
Tema 4 Tema 5	07/12/2020	20:00 a 22:00	Sesión 3 Problemas tipo Algoritmos de búsqueda
Práctica	09/12/2020	20:00 a 22:00	Actividad Guiada 1 sobre Temas 2 y 3
Tema 6	14/12/2020	20:00 a 22:00	Sesión 4 Descenso del gradiente Seminario
Práctica	16/12/2020	20:00 a 22:00	Actividad Guiada 2 sobre Temas 5 y 6
Tema 7	21/12/2020	20:00 a 22:00	Sesión 5 Métodos heurísticos y metaheurísticos
Práctica	11/01/2021	20:00 a 22:00	Actividad Guiada 3 sobre Tema 7
Tema 8	13/01/2021	20:00 a 22:00	Sesión 6 Algoritmos evolutivos y genéticos
Tutoría	18/01/2021	20:00 a 22:00	Tutoría Colectiva Final PRUEBA EVALUACIÓN FINAL(Examen)

4. Elementos del Campus virtual

LOCALIZACIÓN EN CAMPUS	ELEMENTOS
GUÍA DIDÁCTICA	GUÍA DIDÁCTICA DE LA ASIGNATURA
CALENDARIO	FECHAS SESIONES-CLASES SÍNCRONAS
RECURSOS Y MATERIALES	01 “MATERIALES DOCENTES” <ul style="list-style-type: none"> Manual de la asignatura Documento multimedia
	02 “VÍDEOS DE LA ASIGNATURA”
	03 “MATERIALES DEL PROFESOR”
VIDEOCONFERENCIAS	<ul style="list-style-type: none"> Sesiones programadas: Serán accesibles 15 minutos antes del inicio de la videoconferencia. Sesiones grabadas: Serán accesibles 15 minutos después de finalizar la videoconferencia.
ACTIVIDADES	<ul style="list-style-type: none"> Actividades del portfolio Pruebas y exámenes
MIS CALIFICACIONES	Espacio donde el estudiante consulta las calificaciones asignadas a las actividades y pruebas de evaluación.
ANUNCIOS	Espacio donde se pueden consultar las comunicaciones y novedades del profesor durante el desarrollo de la asignatura.
FOROS	

5. Metodología

1. Materiales docentes

El día de inicio de la asignatura, en el menú de herramientas “Recursos y Materiales”, estará a disposición del estudiante los materiales docentes de la asignatura organizados por carpetas:

- Carpeta “01. Materiales docentes”:
 - Manual de la asignatura: manual que recoge los contenidos teóricos de la asignatura y que ha sido elaborado por el consultor de la materia.
 - Documento multimedia (eLearning – SCORM): documento interactivo que presenta una síntesis de los contenidos más importantes de la asignatura. Permite dar un repaso general a la asignatura antes de las videoconferencias teóricas con el consultor.
- Carpeta “02. Videos de la asignatura”:
 - En este espacio el alumno tendrá a disposición los videos docentes del consultor y experto (según la asignatura). Se trata de clases grabadas que podrán visionarse sin franja horaria a lo largo de toda la materia. En concreto esta asignatura dispone de los siguientes videos:
- Carpeta “03. Materiales del profesor”:
 - Carpeta donde el profesor de la asignatura subirá material adicional.

2. Clases teóricas

Durante el transcurso de la materia, el profesor responsable de la misma impartirá clases magistrales por videoconferencia, donde se profundizará en temas relacionados con la materia. Estas clases deberán seguirse en el horario establecido en la planificación de cada materia, si bien quedarán grabadas para un posible visionado posterior.

3. Actividades guiadas

Con el fin de profundizar y de tratar temas relacionados con cada materia se realizarán varias actividades guiadas por parte del docente a través de videoconferencia. Estas clases deberán seguirse en el horario establecido en la planificación de cada materia, si bien quedarán grabadas para un posible visionado posterior.

4. Foro Formativo

La herramienta del Foro Formativo será empleada de forma asíncrona para tratar temas de debate planteados por el profesorado de la UNIVERSIDAD. Como se indica en el siguiente apartado, esta herramienta también se empleará para resolver las dudas del alumnado en el hilo denominado Tutorías.

5. Tutorías

a. Tutorías colectivas

Se impartirán de forma síncrona mediante videoconferencias al inicio y al final de la materia. En la primera se presentará la materia (profesorado, planificación y material recomendado) y la segunda estará destinada a resolver las dudas planteadas por el alumnado, a su valoración sobre el desarrollo de la materia, y a la preparación de la evaluación. Estas clases deberán seguirse en el horario establecido en la planificación de cada materia, si bien quedarán grabadas para un posible visionado posterior.

b. Tutoría individual

El alumnado podrá resolver sus consultas por correo electrónico y/o a través del apartado de Tutorías dentro del Foro Dudas. Existirá, además, la posibilidad de realizar tutorías individuales mediante sesiones de videoconferencia por petición previa del estudiante en el plazo establecido.

6. Seminario

Como complemento a la materia impartida, en cada asignatura se realizarán actividades participativas sobre revisión bibliográfica, temas de interés y actualidad sobre la materia, temas de iniciación a la investigación o uso de herramientas TIC, que se impartirán por el profesorado de la UNIVERSIDAD de forma síncrona mediante la herramienta de videoconferencia.

7. Trabajo autónomo del alumnado

Es necesaria una implicación del alumnado que incluya la lectura crítica de la bibliografía, el estudio sistemático de temas, la reflexión sobre los problemas planteados, la resolución de las actividades planteadas, la búsqueda, análisis y elaboración de información, etc. El profesorado propio de la Universidad seguirá teniendo una función de guía, pero se exigirá al estudiante que opine, resuelva, consulte y ponga en práctica todo aquello que ha aprendido. Los trabajos podrán ser realizados de manera individual o grupal.

6. Evaluación

Sistema de evaluación

El Modelo de Evaluación de estudiantes en la UNIVERSIDAD se sustenta en los principios del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), y está adaptado a la estructura de formación virtual propia de esta Universidad. De este modo, se dirige a la evaluación de competencias.

Es requisito indispensable aprobar el portafolio y la prueba final con un mínimo de 5 para ponderar las calificaciones.

Evaluación	Evaluación continua 60% (mínimo 5/10)	3 Actividades Guiadas(*) (Evaluables): 10%
		Trabajo del Seminario(*) (Evaluable): 40%
		Participación en Foro (Evaluable): 10%
	Evaluación sumativa 40% (mínimo 5/10)	Examen final(*) Prueba sumativa y final teórico-práctica (preguntas abiertas, preguntas de prueba objetiva, examen truncado, etc.)

**Es requisito indispensable aprobar cada apartado de manera independiente para superar la asignatura.*

Atendiendo a la Normativa de Evaluación de la Universidad, se tendrá en cuenta que la utilización de **contenido de autoría ajena** al propio estudiante debe ser citada adecuadamente en los trabajos entregados. Los casos de plagio serán sancionados con suspenso (0) de la actividad en la que se detecte. Asimismo, el uso de **medios fraudulentos durante las pruebas de evaluación** implicará un suspenso (0) y podrá implicar la apertura de un expediente disciplinario.

Sistema de calificación

Los criterios de evaluación se definirán de manera específica para cada una de las actividades en el transcurso de la asignatura. De todos modos, sirva como norma general las pautas que se indican a continuación.

Se establecerá una calificación en los siguientes cálculos y términos:

Nivel de Competencia	Calificación Oficial	Etiqueta Oficial
Muy competente	9 - 10	Sobresaliente
Competente	7 <9	Notable
Aceptable	5 <7	Aprobado

Aún no competente	<5	Suspenso
-------------------	----	----------

El nivel de competencia en cada una de las actividades realizadas se medirá, en términos generales, en función de la adecuación en el planteamiento de los contenidos generales y contenidos específicos, así como en la corrección de la estructura formal y organización del discurso (semántica, sintaxis y léxico). Por último, se valorará la originalidad y creatividad de las intervenciones en las actividades que así lo requieran valorando también la fundamentación bibliográfica de éstas.

Tipo de prueba de evaluación final

No presencial

Convocatorias

1ª Convocatoria: lunes 18/01/2021 a las 20h

2ª Convocatoria: jueves 11/02/2021 a las 20h

6. Actividades formativas

Foros

DESCRIPCIÓN	
Introducción	Las sesiones formativas de Foro Formativo serán empleadas de forma asíncrona para trabajar sobre temas de debate planteados por el tutor de la asignatura.
Objetivo	Con los foros formativos pretendemos que el alumnado reflexione sobre diferentes cuestiones abordadas en el temario.
Descripción de Actividades	<p>Entradas en el Foro</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cuestiones de la asignatura(No evaluable) 2. Aportaciones extraordinarias(Evaluable) 3. Foro para Tema 1 de debate (Evaluable) 4. Foro para Tema 2 de debate(Evaluable)
Metodología	<p>El alumnado, una vez realizado el trabajo previo, tendrá que comentar y argumentar las cuestiones planteadas en el foro.</p> <p>El alumnado podrá interactuar en la discusión dando su opinión y comentando las aportaciones del resto participantes en el foro, siempre respetando las opiniones de sus compañeros.</p> <p>El docente supervisará la sesión de foro para obtener una discusión prolífera.</p> <p>Las diferentes sesiones de foro de esta asignatura se establecerán al comienzo de la misma, en la sesión de tutoría colectiva inicial.</p>
Tarea para el e-portfolio	Portafolio de la asignatura: se incluirá en el portafolio de la asignatura y su peso en la evaluación del portafolio es del 10%. Se valorará positivamente la relevancia y argumentación de las aportaciones realizadas por los alumnos.
Criterios de evaluación	No es necesario entregar ninguna tarea correspondiente a esta actividad. Se valorará en la evaluación de la asignatura la participación y

	calidad de las aportaciones en cada uno de los foros planteados.
Fechas	Apertura: Lunes 30 de noviembre de 2020 hasta las 23:59 pm Cierre: Lunes 18 de enero de 2021 hasta las 23:59 pm

Actividades Guiadas

DESCRIPCIÓN	
Introducción	<p>Las actividades guiadas van dirigidas a mejorar las habilidades de los estudiantes mediante sesiones de análisis, planteamiento-respuesta de cuestiones, discusión y debate entre docentes y estudiantes para el desarrollo de temas específicos relacionados con los contenidos de la asignatura. Videoconferencia interactiva.</p> <p>Es necesario disponer de una cuenta en google para usar el servicio Google Colab.</p>
Objetivo	<p>Con las actividades guiadas pretendemos que el estudiante desarrolle la capacidad de análisis y de abstracción necesarias sobre las que fundamente su actividad interpretativa e investigadora. En definitiva se trata de aplicar los fundamentos teóricos estudiados durante la asignatura.</p>
Descripción de Actividades	<p>AG-1</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollar algoritmos de ordenación con python 2. Desarrollar algoritmos voraces para resolver problemas 3. Desarrollar algoritmos con la técnica de vuelta atrás(backtracking) para resolver problemas 4. Desarrollar algoritmos con la técnica de divide y vencerás para resolver problemas 5. Desarrollar algoritmos con la técnica de programación dinámica para resolver problemas <p>AG-2</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollar algoritmos de búsqueda en amplitud para resolver problemas 2. Desarrollar algoritmos de búsqueda en profundidad para resolver problemas 3. Desarrollar algoritmos con la técnica de ramificación y poda para resolver problemas 4. Modelar problemas y elección del algoritmo adecuado. <p>AG-3</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollar algoritmos con la técnica del descenso del gradiente 2. Desarrollar algoritmos con la técnica de búsqueda tabú 3. Desarrollar algoritmos con la técnica de recocido simulado(simulated annealing)

DESCRIPCIÓN	
	<p>4. Desarrollar algoritmos con la técnica de enjambre de partículas</p> <p>5. Desarrollar algoritmos con la técnica de GRASP(procedimientos de búsqueda voraz aleatorios y adaptativos)</p>
Metodología	<p>Durante la actividad guiada e-presencial se desarrollarán actividades diversas como son la lectura y síntesis de artículos, aportación de los diferentes puntos de vista de un objeto de estudio dado planteado en el texto de la asignatura, comentario de fuentes audiovisuales, etc.</p> <p>La participación activa de los alumnos será necesaria para el buen desarrollo de la actividad.</p> <p>Los alumnos dispondrán de tiempo en la sesión para trabajar y exponer los resultados obtenidos. La forma habitual de trabajo será grupal.</p>
El e-portfolio	<p>La tarea se entregará en formato pdf (ningún otro formato será admitido).</p> <p>La entrega se realizará dentro de los plazos establecidos en el calendario de la asignatura en 1ª o 2ª Convocatoria.</p> <p>La entrega sólo será válida si esta se realiza a través de la pestaña "Actividades" del site de la asignatura. El nombre del archivo pdf no contendrá espacios, acentos o caracteres no estándares.</p> <p>Dentro del documento de cada tarea deberá constar necesariamente el nombre y apellidos de los alumnos.</p>
Criterios de evaluación	<p>Cada una de las actividades se valoraran con 8/10 si son entregadas tal cual se realizan en la clase de videoconferencia correspondiente. La ausencia del algún elemento implicará la reducción de la valoración.</p> <p>Las aportaciones extra personales serán valoradas para obtener mejor valoración</p> <p>Ver rúbrica</p>
Entrega	<p>La tarea se entregará en formato pdf (ningún otro formato será admitido).</p> <p>La entrega se realizará dentro de los plazos establecidos en el calendario de la asignatura en 1ª o 2ª Convocatoria.</p> <p>La entrega sólo será válida si esta se realiza a través de la pestaña "Tareas" del site de la asignatura. El nombre del archivo pdf no contendrá espacios, acentos o caracteres no estándares.</p> <p>Dentro del documento de cada tarea deberá constar necesariamente el nombre y apellidos de los alumnos.</p> <p>Es requisito indispensable para superar la asignatura que el alumno no cometa más de 3 faltas ortográficas graves en cada prueba escrita.</p>

DESCRIPCIÓN	
Fecha de entrega	
1ª Convocatoria	Lunes 18 de enero de 2021 hasta las 23:59 pm
2ª Convocatoria	Jueves 11 de febrero de 2021 hasta las 23:59 pm

Rúbrica de evaluación de Actividad Guiada 1			
Diseño de usando técnicas : Divide y Venceras, Voraz y Backtracking(Vuelta atrás)			
Nivel de competencia			
	Principiante	Competente	Muy Competente
CE1. Dominio de técnicas avanzadas en machine learning y optimización. 80%	No ha logrado presentar y resolver la tarea propuesta	Ha logrado presentar algunas de las tareas del trabajo de la actividad.	Ha logrado presentar todas las tareas del trabajo de la actividad.
CE6. Comprensión de los complejos fundamentos matemáticos en optimización computacional.20%	No ha logrado presentar y resolver la tarea extra propuesta	Ha logrado presentar en parte la tarea extra propuesta.	Ha logrado presentar todas las tareas del trabajo de la actividad.

Rúbrica de evaluación de Actividad Guiada 2			
Diseño de algoritmos con técnicas de Programación Dinámica, Ramificación y poda y Descenso del gradiente.			
Nivel de competencia			
	Principiante	Competente	Muy Competente
CE1. Dominio de técnicas avanzadas en machine learning y optimización. 80%	No ha logrado presentar y resolver la tarea propuesta	Ha logrado presentar algunas de las tareas del trabajo de la actividad.	Ha logrado presentar todas las tareas del trabajo de la actividad.
CE6. Comprensión de los complejos fundamentos matemáticos en optimización	No ha logrado presentar y resolver la tarea extra propuesta	Ha logrado presentar en parte la tarea extra propuesta.	Ha logrado presentar todas las tareas del trabajo de la actividad.

computacional.20%			
-------------------	--	--	--

Rúbrica de evaluación de Actividad Guiada 3			
Diseño de algoritmos con técnicas heurísticas: Búsqueda aleatoria, Búsqueda Local, Simulated Annealing y Colonia de Hormigas			
Nivel de competencia			
	Principiante	Competente	Muy Competente
CE1. Dominio de técnicas avanzadas en machine learning y optimización. 80%	No ha logrado presentar y resolver la tarea propuesta	Ha logrado presentar algunas de las tareas del trabajo de la actividad.	Ha logrado presentar todas las tareas del trabajo de la actividad.
CE6. Comprensión de los complejos fundamentos matemáticos en optimización computacional.20%	No ha logrado presentar y resolver la tarea extra propuesta	Ha logrado presentar en parte la tarea extra propuesta.	Ha logrado presentar todas las tareas del trabajo de la actividad.

Seminarios

DESCRIPCIÓN	
Introducción	Se trata de una actividad síncrona desarrollada durante la parte fina de la asignatura. No precisa trabajo previo.
Objetivo	Resolver un problema real planteado en las clases de videoconferencia. Debe contestar algunas preguntas relacionadas con aspectos teóricos en la entrega asociados al problema propuesto.
Descripción de Actividades	El alumno deberá elegir entre 3 problemas planteados durante la sesión específica del Seminario
Metodología	Desarrollar, modelar y analizar algoritmos según diferentes técnicas para resolver el problema planteado en la asignatura.

DESCRIPCIÓN	
Tarea e-portfolio	<p>La tarea se entregará en formato pdf (ningún otro formato será admitido).</p> <p>La entrega se realizará dentro de los plazos establecidos en el calendario de la asignatura en 1ª o 2ª Convocatoria.</p> <p>La entrega sólo será válida si esta se realiza a través de la pestaña “Tareas” del site de la asignatura. El nombre del archivo pdf no contendrá espacios, acentos o caracteres no estándares.</p> <p>Dentro del documento de cada tarea deberá constar necesariamente el nombre y apellidos de los alumnos.</p> <p>Es requisito indispensable para superar la asignatura que el alumno no cometa más de 3 faltas ortográficas graves en cada prueba escrita.</p>
Criterios de evaluación	Desarrollar, modelar y analizar algoritmos según diferentes técnicas para resolver el problema planteado en la asignatura. Ver Rúbrica
Fecha de entrega	
1ª Convocatoria	Lunes 25 de enero de 2021 hasta las 23:59
2ª Convocatoria	Jueves 11 de febrero de 2021 hasta las 23:59

7. Bibliografía

1. Bibliografía Básica:

- Brassard, G., y Bratley, P. (1997). Fundamentos de Algoritmos. Madrid: Prentice Hall.
- Duarte, A. (2008). Metaheurísticas. Madrid: Dykinson.
- Guerequeta, R., y Vallecillo, A. (2000). Técnicas de diseño de algoritmos. Málaga: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga. Recuperado de <http://www.lcc.uma.es/~av/Libro/indice.html>
- Lee, R. C. T., Tseng, S. S., Chang, R. C., y Tsai, Y. T. (2005). Introducción al diseño y análisis de algoritmos. Ciudad de México: McGraw-Hill.

2 Bibliografía Opcional:

- Brownlee, J. (2011). Clever algorithms: nature-inspired programming recipes. Recuperado de <http://www.cleveralgorithms.com/nature-inspired/index.html>
- Clerc, M. (2004). Discrete Particle Swarm Optimization, illustrated by the Traveling Salesman Problem. En G. C. Onwubolu, B. V. Babu, (Eds.), New Optimization Techniques in Engineering. Studies in Fuzziness and Soft Computing (pp. 219-239). Berlín: Springer.
- Feo, T. A., y Resende, G. C. (1995). Greedy Randomized Adaptive Search Procedures. Journal of Global Optimization, 6(2), 109-133. Recuperado de
- Hillier, F. S., y Lieberman, G. J. (2015). Capítulo 14. Metaheurísticas. En Investigación de Operaciones. Ciudad de México: McGraw-Hill Education.
- Joyanes, L. (2003). Fundamentos de programación. Madrid: McGraw-Hill: Madrid.
- Jordan, C., y Torregrosa, J. R. (1996). Introducción a la teoría de grafos y sus algoritmos. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Kallehauge, B. (2008). Formulations and exact algorithms for the vehicle routing problem with time windows. Computers and Operations Research, 35(7), 2307-2330. Recuperado de <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1323908>
- Luke S. (2005). Essentials of Metaheuristics. Recuperado de <https://cs.gmu.edu/~sean/book/metaheuristics/Essentials.pdf>
- Peña, R. (2006). De Euclides a Java: Historia de los algoritmos y de los lenguajes de programación. Madrid: Nivola.