

AVANCES Y DESAFÍOS PARA LA TRANSFORMACIÓN EDUCATIVA



Universidad de
Oviedo

Esta obra está bajo una licencia Reconocimiento- No Comercial- Sin Obra Derivada 4.0 Internacional de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> o envíe una carta a Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.



Reconocimiento- No Comercial- Sin Obra Derivada (by-nc-nd): No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas.

-  Usted es libre de copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, bajo las condiciones siguientes:
-  Reconocimiento – Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el licenciadador:

Edición: Lourdes Villalustre Martínez y Marisol Cueli. Universidad de Oviedo. Vicerrectorado de Políticas de Profesora-do. Instituto de Investigación e Innovación Educativa.

La autoría de cualquier artículo o texto utilizado del libro deberá ser reconocida complementariamente.

-  No comercial – No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
-  Sin obras derivadas – No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

© 2022 Universidad de Oviedo

© Los autores

Universidad de Oviedo

Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo

Campus de Humanidades. Edificio de Servicios. 33011 Oviedo (Asturias)

Tel. 985 10 95 03. Fax 985 10 95 07

http: www.uniovi.es/publicaciones

servipub@uniovi.es

Recurso en línea: PDF (pp.426)

ISBN: 978-84-18482-60-1

Índice

INTRODUCCIÓN	7
Preguntas activas utilizando Vevox para aumentar la asistencia y hacer más atractivas y dinámicas las clases teóricas de la asignatura optativa Software para Robots	8
Seguimiento y evaluación formativa de los aprendizajes con rúbricas digitales	20
Metodología de anotaciones multimedia para hacer más participativa la enseñanza universitaria.....	29
La Construcción Narrativa de la Identidad Docente en la Formación Inicial del Profesorado de Primaria y Secundaria a partir de Relatos Autobiográficos.....	38
El oficio del Instagrammer. Enseñando #Historia e #HistoriadelArte a través de Instagram.....	48
El pensamiento crítico a través de la reflexión. Un estudio en el Grado en Educación Infantil	59
Gamificación y Aprendizaje Basado en Juegos Serios para el desarrollo de competencias digitales y mediáticas	70
Bases para una propuesta de utilización de técnicas de mapeo colectivo en Fundamentos de la Geografía	81
Metodologías activas para la enseñanza en el Grado de Historia	91
La influencia de la elección de itinerario en la asignatura de Tecnología Educativa durante la covid-19. La perspectiva del alumnado del Grado de Pedagogía de la Universidad de La Laguna.....	102
La tarea como espacio discursivo de metarreflexión en la formación docente	112
Diálogos reflexivos transdisciplinares sobre el salto a la Universidad digital	122
¿Quién Quiere Ser Enfermero?	132
Nuevas Tecnologías, nuevos Recursos para la Enseñanza-Aprendizaje del Derecho Romano (IV). Aplicación en las Prácticas de Aula. PINN 20-B-002.....	141
Innovación docente en el ámbito de la arquitectura doméstica granadina en los siglos XVIII y XIX	153
Literatura para enseñar Historia: La Edad Media en <i>El caballero inexistente</i> , de Calvino. Una propuesta didáctica	162

La proyección social de las prácticas de aula de logopedia para personas mayores a través de medios telemáticos	172
Coordinación interuniversitaria para la realización virtual de prácticas sanitarias a través de videoconferencias.	183
Aplicabilidad del debate académico a la práctica docente en los Grados de Comunicación.....	194
Creando un blog comunitario para la enseñanza y divulgación de la Geografía	205
Las fuentes históricas como herramientas para aprender sobre las transformaciones socioeconómicas	215
Desarrollo de un <i>chatbot</i> para responder a las preguntas frecuentes en relación al funcionamiento de una asignatura	226
Aprendiendo Geografía sobre la marcha: Desarrollo Local en el Camino de Santiago.....	232
Proyecto +Rural: Innovando a través de la cooperación. Dinamizar la España Vaciada mediante la metodología “RuralLab” y las redes “RuralCoopera”	241
Estrategias de mejora de la competencia digital docente: Creación de tutoriales en el IES Corvera de Asturias.....	251
Evaluación P2P como herramienta de aprendizaje en los laboratorios de Química Analítica.....	261
La gamificación como metodología innovadora en el ámbito educativo	272
Análisis de la bibliografía disponible para el tema de aritmética finita y teoría de errores de la asignatura de Computación Numérica del grado en Ingeniería Informática del Software y recomendaciones para su uso.....	281
Desarrollo del trabajo en equipo y la competencia comunicativa en la asignatura ‘Comunicaciones Móviles’	291
Análisis de libros de texto como herramienta para desarrollar la visión crítica del alumnado de Magisterio	301
Learning English with Technology: eTwinning for Future Teachers para la formación de docentes de inglés como lengua extranjera y educación bilingüe	312
Experiencia virtual de interpretación de cambios en el paisaje en la formación inicial de docentes de Educación Infantil	323
De las aulas a la realidad: asentando el conocimiento con un juego-concurso para descubrir fake-news	334
Con la G de Gamificación.....	342

Chemplay: Una Nueva App para Enseñar Química Orgánica.....	350
Diseño e implementación de la metodología activa gamificación en la formación del profesorado: el Aula del Futuro como espacio de enseñanza y aprendizaje.....	359
Edición de un Libro de Divulgación Científica sobre Revisiones de Actualidad en Temas de Microbiología Sanitaria	367
“Clínicas Jurídicas” para una enseñanza práctica del Derecho Procesal	375
“HowTo”. Metodología de fomento de la participación y aprendizaje en la asignatura de Sistemas energéticos y aprovechamientos hidráulicos. Evolución del proyecto	386
La utilización de instrumentos de datación relativa para la enseñanza de la geomorfología: el Equotip 550	395
Herramienta de simulación “Simscape-Fluids” para las prácticas de Máquinas y Sistemas Fluidomecánicos.	406
Aprendizaje invertido, simulación y cine como apoyo a la docencia en gestión de servicios TIC	417

Análisis de la bibliografía disponible para el tema de aritmética finita y teoría de errores de la asignatura de Computación Numérica del grado en Ingeniería Informática del Software y recomendaciones para su uso

*Fernando Sánchez Lasheras, Paulino José García Nieto, y Esperanza García Gonzalo
Departamento de Matemáticas. Universidad de Oviedo.*

Correspondencia: Fernando Sánchez Lasheras. Universidad de Oviedo. Departamento de Matemáticas. Facultad de Ciencias c/ Federico García Lorca 18, 33007 Oviedo, España

RESUMEN

A la hora de seguir el desarrollo de una asignatura, los libros de texto son la herramienta más útil para el estudiante, dado que sirven tanto para repasar como para ampliar los conceptos tratados en las clases teóricas y, además, permiten disponer de problemas y ejemplos adicionales. La experiencia indica que no es conveniente recomendar un número excesivo de libros, ya que pueden dispersar la atención del alumno al no saber elegir las fuentes a las que tiene que acudir. Por el contrario, recomendar un único libro, supone limitar la posibilidad de comparar información, estudiar un concepto desde diferentes puntos de vista y, por tanto, supone una limitación al desarrollo de la capacidad crítica. Dentro del modelo de enseñanza del Espacio Europeo de Educación Superior, el libro de texto debe favorecer el trabajo autónomo del alumno. Por tanto, debe disponer no solo de un corpus teórico sino también de actividades y ejercicios variados con los que el lector pueda practicar lo aprendido. El presente trabajo examina 46 libros de análisis numérico, algunos de ellos textos clásicos dentro de este campo, indicando cuáles proporcionan contenidos de interés para el tema de aritmética finita y teoría de errores. Además, también se aportan recomendaciones relativas a qué contenidos son los más indicados de cada libro para la explicación de los conceptos de este tema, y se distingue entre aquellos textos que se recomiendan únicamente para el docente y los que pueden ser manejados por los alumnos.

Palabras clave: Análisis numérico, aritmética finita, teoría de errores, libros de texto

ANALYSIS OF THE BIBLIOGRAPHY AVAILABLE FOR THE SUBJECT OF FINITE ARITHMETIC AND ERROR THEORY OF THE SUBJECT OF NUMERICAL COMPUTING OF THE DEGREE IN COMPUTER SOFTWARE ENGINEERING AND RECOMMENDATIONS FOR ITS USE

ABSTRACT

In order to be able to follow the teacher explanations of a subject, textbooks are the most useful tool for the student, since they serve both to review and to expand the concepts covered in the theoretical classes and, in addition, they provide additional examples. Experience indicates that it is not advisable to recommend an excessive number of books, since they can disperse the student's attention. On the contrary, recommending only one book means limiting the possibility of comparing information, studying a concept from different points of view and, therefore, limiting the development of critical capacity. Within the teaching model of the European Higher Education Area, the textbook must favor the autonomous work of the student. Therefore, it must have not only a theoretical corpus but also a variety of activities and exercises with which the reader can practice what they have learned. The present work analyzes 46 books of numerical analysis, some of them classic texts within this field, indicating which ones provide content of interest for the subject of finite arithmetic and error theory. In addition, recommendations are also provided regarding which contents are the most suitable for each book for the explanation of the concepts of this topic, and a distinction is made between those texts that are recommended only for the teacher and those that can be handled by the students.

Keywords: Numerical analysis, finite arithmetic, errors theory, textbooks

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo relaciona la bibliografía que los autores consideran más interesante para la preparación del tema de aritmética finita y teoría de errores correspondiente a la asignatura de Computación Numérica del grado en Ingeniería Informática del Software. Esta bibliografía se presenta indicando claramente para qué contenidos se recomienda cada uno de los textos. Los libros seleccionados son el fruto de un trabajo que se realizó para todos los temas de la asignatura mencionada y en el que se manejan 46 textos diferentes.

El tema titulado Aritmética Finita y Teoría de Errores es el primero de la asignatura y, por tanto, constituye para el alumno una toma de contacto con la misma. El contenido que se propone está formado por dos partes claramente diferenciadas, una relativa a los aspectos generales del análisis numérico, con un carácter fundamentalmente introductorio, y otra centrada en la aritmética finita y la teoría de errores.

Como es bien sabido, el término análisis numérico se popularizó a partir de 1947, con la creación del Instituto de Análisis Numérico de la Universidad de California en Berkeley. A pesar de esto, no se debe olvidar que muchos de los métodos, ideas y conceptos que se manejan en esta disciplina son muy anteriores a dicha fecha. Sin embargo, ha sido en los últimos 70 años cuando se ha formado un cuerpo de doctrina con estas ideas, algunas reformuladas con una perspectiva moderna y otras nuevas, surgidas en el contexto de la era de la informática.

El objetivo global de la primera parte del tema es que el alumno se dé cuenta de la importancia que tienen los métodos numéricos en las distintas disciplinas científicas y técnicas, especialmente en sus aplicaciones a la ingeniería del software. También resulta necesario que este tema sirva para conocer qué tipo de problemas reales se pueden resolver utilizando métodos numéricos. Por tanto, es aquí donde se ha de contextualizar la materia del curso, mostrando a través de ejemplos cómo se realiza el proceso de modelado matemático de un problema real, y su resolución aproximada por medio de un método numérico.

La segunda parte de este tema se dedica a la aritmética finita y la teoría de errores. Si bien se trata de unos contenidos imprescindibles en todo curso de Análisis Numérico, lo es incluso más en el caso de la asignatura de Computación Numérica, dado que se imparte en el grado en Ingeniería Informática del Software, y conceptos tales como las formas de almacenamiento de los números en coma flotante en un ordenador según la norma IEEE 754, el análisis del error y su propagación, etc. son fundamentales en el campo de las ciencias de la computación.

Para la comprensión de los contenidos, el alumno debe hacer uso de algunos conceptos vistos en las asignaturas de Cálculo y Álgebra que se estudian en el primer semestre del primer curso de este grado. También de conceptos propios de la asignatura de Fundamentos de Computadoras y Redes, que corresponden al segundo semestre de primero, y en la que dentro del Tema 1, relativo a la información digital, se explica en qué consiste el sistema de numeración posicional, los números naturales, los enteros y los reales, así como su representación en un ordenador y el paso de la codificación decimal a binaria y viceversa.

MATERIAL Y MÉTODOS

Contenido Docente

Se detalla a continuación el contenido docente del primer tema. Así, la Tabla 1 muestra dicho contenido en su parte referida a los aspectos generales del análisis numérico. Dicha parte comienza con una introducción a qué es el análisis numérico,

seguida por la explicación de cuáles son las diferencias entre el cálculo simbólico y el cálculo numérico para, finalmente, explicar los distintos tipos de problemas que estudia el análisis numérico distinguiendo entre métodos directos y métodos iterativos. A la explicación de este contenido se le dedica una hora de clase expositiva.

Tabla 1. Contenido docente del tema Aritmética Finita y Teoría de Errores. Parte relativa a los aspectos generales del análisis numérico

Aspectos generales del análisis numérico
<ul style="list-style-type: none">• ¿Qué es el análisis numérico?• Cálculo simbólico frente a cálculo numérico• Problemas que trata el análisis numérico<ul style="list-style-type: none">o Problemas de dimensión finitao Problemas de dimensión infinita• Algunos tipos de problemas que trata el análisis numérico<ul style="list-style-type: none">o Problemas de ecuaciones numéricas no linealeso Problemas de interpolacióno Problemas de diferenciación numéricao Problemas de integración numéricao Resolución de sistemas lineales de orden elevado• Métodos directos y métodos iterativos

De igual manera, la Tabla 2 presenta el contenido de este tema en su parte relativa a la aritmética finita y la teoría de errores. Para la explicación de dicha parte se dedicarán tres horas de clases expositivas y las explicaciones se centran en cómo se realiza el almacenamiento de los números en los sistema decimal y binario, así como en la conversión de números entre sistemas, la representación de estos números según la norma IEEE 754, los valores especiales existentes en dicha norma, los conceptos de exactitud y el redondeo, las posibles fuentes de error que afectarán a los cálculos que se realicen con un ordenador, el condicionamiento de un problema y el orden de aproximación.

Objetivos del Tema

Tras la explicación de este tema, en lo referente a los aspecto generales del análisis numérico, los alumnos deben de ser capaces de entender las diferencias entre el cálculo simbólico y el cálculo numérico, conocer las limitaciones del cálculo simbólico, entender la utilidad práctica del cálculo numérico y en qué contextos resulta necesaria su aplicación, diferenciar entre problemas de dimensión finita y de dimensión infinita, conocer qué tipos de problemas trata el análisis numérico y, finalmente, diferenciar entre métodos directos y métodos iterativos.

En lo relativo a la parte del tema centrada en la aritmética finita y teoría de errores, es necesario que los alumnos, tras el estudio de esta, sean capaces de diferenciar entre el tratamiento que se da a los números en el cálculo simbólico y en la aritmética finita, así como que sepan representar cualquier número decimal en sistema binario y viceversa. En lo referente a la norma IEEE 754, han de ser capaces de representar cualquier número según los estándares de dicha norma, haciendo uso de las representaciones de un número en precisión simple y doble según la norma IEEE 754. Además, también deben saber cómo se representa el infinito y un resultado *not a number* según la norma IEEE 754 y conocer y utilizar los números desnormalizados. También han de ser capaces de definir el concepto de exactitud, la ϵ de máquina y saber calcularla para precisión simple, doble, así como saber calcular el entero más grande que se puede representar de forma exacta en las ya mencionadas precisiones de la norma IEEE 754. También resulta necesario que conozcan qué son los errores de *underflow* y *overflow*, así como sus consecuencias, sabiendo aplicar el redondeo por truncamiento y al par más cercano tanto a un número expresado en base diez como en base dos.

Tabla 2. Contenido docente del tema Aritmética Finita y Teoría de Errores. Parte relativa a la aritmética finita y teoría de errores

Aritmética finita y teoría de errores
<ul style="list-style-type: none"> • Introducción • Sistema decimal y binario. Almacenamiento de números y conversión entre sistemas • Representación de números. La norma IEEE 754 <ul style="list-style-type: none"> o Representación en coma flotante decimal y binaria o La norma IEEE 754 en precisión simple y precisión doble o Conversión de base 10 a binario y viceversa en norma IEEE 754 con precisión simple y precisión doble • Valores especiales <ul style="list-style-type: none"> o Infinito y <i>not a number</i> (NaN) o Números desnormalizados • Exactitud, redondeo y error <ul style="list-style-type: none"> o Exactitud en coma flotante o La ϵ de la máquina en precisión simple y doble o El entero más grande en precisión simple y doble o Exactitud IEEE. Los errores de <i>underflow</i> y <i>overflow</i> o Redondeo decimal. Truncamiento y redondeo al par más cercano o Redondeo binario. Truncamiento y redondeo al par más cercano

- Fuentes de error
 - o Error en los datos de entrada
 - o Error de redondeo y error de truncamiento
 - o Acotación y propagación del error
 - o Estabilidad numérica
 - o Error absoluto y relativo
 - o Dígitos significativos
 - o Errores de cancelación
 - o Reordenación de cálculos
 - Condicionamiento de un problema
 - Orden de aproximación
-

En lo referente al error de redondeo, no solo deben conocer en qué consiste dicho error, sino también comprender las diferencias que se producen en los resultados si se efectúa un redondeo por truncamiento frente a si el redondeo que se realiza es al par más cercano. También han de ser capaces de definir en qué consiste la acotación del error, conocer el concepto de propagación del error y sus consecuencias, así como el de estabilidad numérica siendo capaces de conocer cuál es la diferencia entre un algoritmo estable y otro inestable.

Por último, también resulta imprescindible que conozcan y apliquen las fórmulas de los errores absolutos y relativos, sepan en qué consiste el error de cancelación y entiendan que la reordenación de cálculos puede ayudar a evitar la pérdida de precisión, comprendiendo el significado de los conceptos de condicionamiento y orden de aproximación.

RESULTADOS

Tras el análisis de 46 referencias bibliográficas distintas, para la preparación y estudio de este tema, se han considerado de interés las 10 referencias que seguidamente se relacionan describiendo los contenidos del tema para los que se emplearán.

Para la preparación del contenido introductorio sobre aspectos generales del análisis numérico, se ha empleado como texto fundamental el libro *Lecciones de Métodos numéricos. 1 – Introducción general y análisis de errores*, de Viaño Rey (1995), con la ayuda de algunos ejemplos que se proponen en *Análisis numérico*, de Burden y Faires (1998) y en *Métodos numéricos para ingenieros*, de Chapra y Canale (2003). Una interesante reflexión sobre qué es el análisis numérico se encuentra en *Análisis numérico: las matemáticas del cálculo científico*, de Kincaid y Cheney (1994).

En lo referente a la aritmética finita y teoría de errores, se ha utilizado el libro *Lecciones de Métodos numéricos. 1 – Introducción general y análisis de errores*, de Viaño Rey (1995), para explicar la representación de los números en los sistemas decimal y binario. Este mismo libro también trata la aritmética en coma flotante según la norma IEEE 754. Para la explicación de esta temática también resulta de utilidad el libro *Cálculo y métodos numéricos: Teoría, Algoritmos y Problemas Resueltos*, de Rodríguez Gómez (2003), así como la consulta a la propia norma en su última versión, que en el momento de escribir este artículo es la *754-2019-IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic*. Para la explicación de conceptos tales como la exactitud y los distintos tipos de redondeo y error, también se puede hacer uso de *Métodos numéricos. Teoría, problemas y prácticas con MATLAB*, de Infante del Río y Rey Cabezas (2018). Finalmente, para la explicación de conceptos tales como la acumulación de errores de redondeo, los errores debidos a la pérdida de precisión o error de cancelación, así como el condicionamiento de un problema, la explicación que se hace en *Cálculo Numérico para Computación en Ciencia e Ingeniería. Desarrollo práctico con MATLAB*, de Martín Llorente y Pérez García (1998), resulta muy adecuada al nivel de este curso.

Se proponen dos posibles ampliaciones, que son costo operativo y eficiencia y aritmética de intervalos para el análisis de errores. El estudio de la primera se puede hacer con la ayuda del libro *Diez lecciones de cálculo numérico*, de Sanz Serna (2010), mientras que para la introducción del concepto de análisis del error hacia atrás, se considera muy recomendable el libro *Útiles básicos de cálculo numérico*, de Aubanell, Benseny y Delshams (1993). La aritmética de intervalos para el análisis de errores se puede seguir en el libro *Lecciones de Métodos numéricos. 1 – Introducción general y análisis de errores*, de Viaño Rey (1995). Finalmente, para la realización de ejercicios, además de los que se proponen en el campus virtual de la asignatura, se puede hacer uso del libro *Problemas de computación numérica*, publicado en 2019 y escrito por Sánchez Lasheras y García Gonzalo, docentes ambos de la asignatura de Computación Numérica en el grado en Ingeniería Informática del Software de la Universidad de Oviedo.

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta las referencias bibliográficas que se han encontrado de más interés para la explicación del tema titulado Aritmética Finita y Teoría de Errores de la asignatura de Computación Numérica. En el mismo se explica en detalle para qué conceptos sería de interés el uso de cada uno de estos libros. Por tanto, se trata de unas recomendaciones destinadas fundamentalmente al docente que imparte la asignatura y no al alumno que la estudia y, por tanto, se enfrenta a ella por primera vez.

Una vez preparados los contenidos del tema a partir de la bibliografía seleccionada, se recomienda al docente la presentación de los distintos conceptos apoyándose en el uso de la pizarra y complementándolo con la proyección de transparencias. A lo largo de la explicación teórica, como refuerzo de lo estudiado, se recomienda realizar ejemplos numéricos de los conceptos que se expliquen. Además, se podrían ejecutar algunos programas ordenador, por ejemplo en código MATLAB, que puedan servir para una mejor comprensión de los conceptos relacionados con la aritmética finita.

OTRAS REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS

Se incluyen a continuación tanto las referencias utilizadas para la preparación del tema como el resto de referencias bibliográficas que fueron consultadas y que si bien su uso no se recomienda para este capítulo de la asignatura, sí se emplearán en otros. La motivación de proceder así es ofrecer al lector interesado en los métodos numéricos una bibliografía completa y actualizada.

Alarcia Estévez, E. et al. (2015). *Cálculo Numérico para Ingeniería Industrial. Conceptos básicos y ejercicios*. Ediciones Universidad de Valladolid.

Allen, D. N. (1954). *Relaxation Methods*. McGraw-Hill.

Aranda Guillén, T. & García Rodríguez, J. G. (1999). *Notas sobre MATLAB*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo.

Atkinson, K. E. (1978). *An introduction to numerical analysis*. John Wiley & Sons.

Aubanell, A. et al. (1993). *Útiles básicos de cálculo numérico*. Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Barcelona.

Bermúdez, L. et al. (1995). *Optimización*. Media Ediciones.

Burden, R. & Faires, D. (1998). *Análisis numérico*. International Thomson Editores.

Cárdenas Morales, D. et al. (2014). *Análisis Numérico. Primeros pasos*. Editorial Reverté.

Chapra, S. C. & Canale, R. P. (2003). *Métodos numéricos para ingenieros*. McGraw-Hill Educación.

Ciarlet, P. G. (1989). *Introduction to numerical linear algebra and optimization*. Cambridge University Press.

Conte, S. D. & de Boor, C. (1974). *Análisis Numérico*. McGraw-Hill.

Cuevas Jiménez, E. V. et al. (2016). *Optimización. Algoritmos programados con MATLAB*. Alfaomega.

- Davis, P. J. (1975). *Interpolation and Approximation*. Dover Publications.
- De Boor, C. (2001). *A practical guide to splines*. Springer-Verlag.
- Demmel, J. W. (1997). *Applied Numerical Linear Algebra*. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM).
- Dennis, J. E. & Schnabel, R. B. (1996). *Numerical Methods for unconstrained Optimization and nonlinear equations*. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM).
- Dierckx, P. (1993). *Curve and Surface fitting with splines*. Oxford Science Publications.
- Doubova, A. & Guillén González, F. (2007). *Un Curso de Cálculo Numérico: Interpolación, Aproximación, Integración y Resolución de Ecuaciones Diferenciales*. Universidad de Sevilla.
- Eldén, L. & Wittmeyer-Koch, L. (1990). *Numerical Analysis: an introduction*. Academic Press.
- Gasca, M. (1991). *Cálculo Numérico I*. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Gerald, C. F. & Wheatley, P. O. (2000). *Análisis numérico con Aplicaciones*. Pearson Educación.
- Hackbush, W. (1994). *Iterative Solutions of Large Sparse Systems of Equations*. Springer-Verlag.
- Heath, M. T. (2005). *Scientific Computing. An Introductory Survey*. Mc Graw-Hill.
- Hildebrand, F. B. (1974). *Introduction to numerical analysis*. Dover Publications.
- Infante del Río, J. A. & Rey Cabezas, J. M. (2018). *Métodos numéricos. Teoría, problemas y prácticas con MATLAB*. Ediciones Pirámide.
- Isaacson, E. & Keller, H. B. (1994). *Analysis of numerical methods*. John Wiley and Sons.
- Kincaid, D. & Cheney, W. (1994). *Análisis numérico: las matemáticas del cálculo científico*. Addison Wesley Iberoamericana.
- Kramer, O. (2017). *Genetic Algorithm Essentials*. Springer.
- Linfield, G. & Penny, J. (2012). *Numerical Methods Using MATLAB*. Elsevier.
- Martín Llorente, I. & Pérez García, V. M. (1998). *Cálculo Numérico para Computación en Ciencia e Ingeniería. Desarrollo práctico con MATLAB*. Editorial Síntesis.

- Mathews, J. H. & Fink, K. D. (2007). *Métodos Numéricos con MATLAB*. Pearson Educación.
- Pedregal, P. (2004). *Introduction to Optimization*. Springer.
- Quarteroni, A. & Saleri, F. (2006). *Cálculo científico con MATLAB y Octave*. Springer-Verlag.
- Quarteroni, A. et al. (2006). *Numerical Mathematics*. Springer.
- Quintela Estévez, P. (1997). *Introducción a MATLAB y sus aplicaciones*. Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Santiago de Compostela.
- Ralston, A. & Rabinowitz, P. (1978). *A First Course in Numerical Analysis*. Dover Publications.
- Robles del Peso, A. & García Benedito, J. (2005). *Métodos numéricos en Ingeniería. Prácticas con MATLAB*. Textos universitarios ediuno.
- Rodríguez Gómez, F. J. (2003). *Cálculo y métodos numéricos: Teoría, Algoritmos y Problemas Resueltos*. Universidad Pontificia de Comillas.
- Sánchez Lasheras, F. & García Gonzalo, E. (2019). *Problemas de computación numérica*. HiFer A. G.
- Sanz-Serna, J. M. (2010). *Diez lecciones de cálculo numérico*. Universidad de Valladolid.
- Stewart, G. W. (1973). *Introduction to matrix computations*. Academic Press.
- Viaño Rey, J. M. (1995). *Lecciones de Métodos numéricos. 1 – Introducción general y análisis de errores*. Tórculo Artes Gráficas.
- Viaño Rey, J. M. (1997). *Lecciones de Métodos numéricos. 2 - Resolución de ecuaciones numéricas*. Andavira editora.
- Viaño, J. M. & Burguera, M. (2000). *Lecciones de Métodos Numéricos. 3- Interpolación*. Tórculo Ediciones.
- Viaño, J. M. & Burguera, M. (2013). *Lecciones de Métodos Numéricos. 4- Optimización*. Andavira Editorial.
- Wendroff, B. (1966). *Theoretical Numerical Analysis*. Academic Press.