

## PROYECTO FIN DE GRADO

**TÍTULO:** Aplicación de la IA para explicar la teoría de la asignatura de Señales y Sistemas

**AUTOR/A:** Jaime Higuera Barrantes

**TITULACIÓN:** Ingeniería de Sonido e Imagen

**TUTOR/A:** Juan Carlos González de Sande

**DEPARTAMENTO:** Ingeniería Audiovisual y Comunicaciones (IAC)

VºBº TUTOR/A

**Miembros del Tribunal Calificador:**

**PRESIDENTE/A:** Manuel César Rodríguez Lacruz

**TUTOR/A:** Juan Carlos González de Sande

**SECRETARIO/A:** Eloy Portillo Aldana

**Fecha de lectura:** Septiembre 2024

**Calificación:**

El Secretario/La Secretaria,



---

## Resumen

En el contexto actual de la Industria 4.0 [1], la Inteligencia Artificial (IA) emerge como un elemento transformador en diversos ámbitos, incluyendo la educación. Este Proyecto Fin de Grado (PFG) explora el potencial del modelo de lenguaje ChatGPT para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje en la asignatura de Señales y Sistemas de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación (ETSIST).

La enseñanza tradicional de materias como Señales y Sistemas, a menudo basada en métodos expositivos y repetitivos, puede presentar dificultades para la comprensión de conceptos complejos por parte de los estudiantes. Además, la atención individualizada y la adaptación a los ritmos de aprendizaje personalizados resultan tareas desafiantes y con frecuencia no solucionadas para los docentes. La incorporación de la inteligencia artificial en la enseñanza de Señales y Sistemas tiene el potencial de ser un factor determinante para la experiencia educativa, ofreciendo una tutoría personalizada, resolución de problemas interactiva y ayuda individual a cada alumno cuando este lo necesite. Esta herramienta puede complementar la enseñanza tradicional y adaptarse a las necesidades individuales de cada estudiante, promoviendo un aprendizaje más profundo y significativo.

Este proyecto tiene como objetivo principal mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje de la asignatura de Señales y Sistemas en la ETSIST mediante la implementación de ChatGPT como herramienta educativa innovadora. Para esto, se propone el desarrollo de un plan educativo que consta de dos elementos: primero, una guía técnica que proporciona instrucciones detalladas para el uso efectivo de ChatGPT en la resolución de problemas conceptuales. Segundo, una página web que ofrece contenido especializado para la asignatura, integrando *prompts* diseñados para ser utilizados con ChatGPT. Estos *prompts* permitirán al alumno conseguir explicaciones correctas generadas por el ChatGPT, y no solo correctas si no también personalizadas ajustándose al conocimiento previo y al estilo de razonamiento de cada estudiante. Este enfoque representa un cambio significativo en la educación, ya que invierte el proceso tradicional: en lugar de que los estudiantes se adapten al método de enseñanza del profesor, es la herramienta educativa, en este caso ChatGPT, la que se adapta a las necesidades individuales de cada alumno.

Aun consiguiendo este nivel de personalización y automatización, el docente sigue siendo un elemento crucial en el proceso educativo, guiando a los estudiantes, fomentando el pensamiento crítico y generando un entorno de aprendizaje estimulante. La IA debe verse como una herramienta complementaria que enriquece la labor docente, no como un reemplazo de esta.

Este PFG constituye un paso inicial en la exploración del potencial transformador de la IA en la educación. Se espera que los resultados obtenidos sirvan como estímulo para futuras investigaciones y contribuyan a la mejora continua de la enseñanza de la ingeniería. La sinergia entre la experiencia docente y las capacidades de la IA tiene el potencial de revolucionar la

---

educación y preparar a los futuros profesionales para afrontar los retos de un mundo cada vez más complejo y tecnificado.

Este trabajo no solo presenta un enfoque técnico para la implementación de ChatGPT en la enseñanza de Señales y Sistemas, sino que también invita a una reflexión sobre el papel de la IA en la educación en la era digital.

---

## Abstract

In the current context of Industry 4.0, Artificial Intelligence (AI) emerges as a transformative element across various fields, including education. This thesis explores the potential of the ChatGPT language model to enhance teaching and learning processes in the Signals and Systems course at The School of Engineering and Telecommunications Systems (ETSIST).

Traditional teaching methods in subjects like Signals and Systems often rely on repetitive, expository approaches, which can pose challenges in understanding complex concepts for students. Additionally, providing personalized attention and adapting to individual learning paces remain daunting tasks for educators. Integrating artificial intelligence into Signals and Systems education has the potential to revolutionize the learning experience by offering personalized tutoring, interactive problem-solving, and on-demand assistance that traditional teaching methods may not fulfill. This tool can complement traditional teaching and cater to each student's individual needs, promoting deeper and more meaningful learning.

The primary aim of this project is to enhance the teaching and learning processes of the Signals and Systems course at ETSIST through the implementation of ChatGPT as an innovative educational tool. This involves developing an educational plan consisting of two key elements: first, a technical guide providing detailed instructions for effectively using ChatGPT in solving conceptual problems; second, a website offering specialized content for the course, integrating *prompts* designed for use with ChatGPT. These *prompts* enable students to receive correct explanations generated by ChatGPT, personalized to their prior knowledge and reasoning style. This approach represents a significant shift in education, with educational tools like ChatGPT adapting to individual student needs, rather than students conforming to a teacher's teaching method.

Even with this level of personalization and automation, the teacher remains a crucial element in the educational process, guiding students, fostering critical thinking, and creating a stimulating learning environment. AI should be viewed as a complementary tool that enriches teaching rather than replacing it.

This thesis project represents an initial exploration into the transformative potential of AI in education. The findings are expected to inspire future research and contribute to ongoing improvements in engineering education. The synergy between teaching experience and AI capabilities has the potential to revolutionize education and prepare future professionals for the challenges of an increasingly complex and technologically driven world.

This work not only presents a technical approach to implementing ChatGPT in Signals and Systems education but also invites a reflection on the role of AI in education in the digital age

---

## Índice de figuras

Figura 1. Categorías para la aplicación de la IA en educación STEM [3] .....	6
Figura 2. Código HTML para el panel principal .....	14
Figura 3. Código HTML para el panel de información .....	15
Figura 4. Código HTML para el panel del Tema 1 .....	15
Figura 5. Código CSS para el estilo del panel central .....	16
Figura 6. Mensaje de limite alcanzado con GPT-4 .....	26
Figura 7. Captura de pantalla de referencias adicionales abonadas por la IA .....	27
Figura 8. Diagrama de flujo A/D hecho por la IA .....	28
Figura 9. Resumen de las fórmulas de un filtro paso bajo de 1º orden .....	29
Figura 10. Muestra de dos opciones a la misma pregunta .....	31
Figura 11. Captura de pantalla copiada en el ChatGPT a modo de ayuda .....	32
Figura 12. Apartado "Explicación Simple" .....	33
Figura 13. Resumen visual de las propiedades de la transformada Z .....	34
Figura 14. Resumen sobre interconexión de sistemas LTI de tiempo discreto .....	34
Figura 15. Resultado obtenido en las dos primeras preguntas .....	36
Figura 16. Resultado obtenido para las preguntas sobre las propiedades del sistema .....	36
Figura 17. Resultado obtenido sobre la asociación en paralelo .....	37
Figura 18. Resultados obtenidos para la asociación en serie .....	37
Figura 19. Resultados obtenidos sobre el uso del ChatGPT .....	38
Figura 20. Panel principal .....	39
Figura 21. Icono de información sobre la web .....	40
Figura 22. Panel de información sobre la web .....	40
Figura 23. Icono guía técnica .....	41

---

## Índice de tablas

Tabla 1. Calificación cualitativa de las respuestas del ChatGPT .....	43
Tabla 2. Presupuesto completo del proyecto .....	45



---

## Lista de acrónimos

BIBO	Bound input, bound output
CTFS	Series de Fourier de tiempo continuo
CTFT	Transformada de Fourier de tiempo continuo
DTFS	Series de Fourier en tiempo discreto
DTFT	Transformada de Fourier en tiempo discreto
EDLCC	Ecuación diferencial lineal con coeficientes constantes
ETSIST	Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación
FIR	Finite Impulse Response
IA	Inteligencia artificial
IIR	Infinite Impulse Response
ODS	Objetivos de desarrollo sostenible
PFG	Proyecto de Fin de Grado
PLN	Procesamiento de lenguaje natural
RGB	Red, Green, Blue
ROC	Región de convergencia
STEM	Ciencia, tecnología, ingeniería, matemáticas
SyS	Señales y Sistemas
TC	Tiempo continuo
TD	Tiempo discreto
TF	Transformada de Fourier
TZ	Transformada Z



---

# Índice de contenidos

Resumen .....	iii
Abstract .....	v
Índice de figuras .....	vi
Índice de tablas .....	vii
Lista de acrónimos.....	ix
<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Marco y motivación del proyecto.....	1
1.2 Objetivos técnicos y académicos .....	2
1.3 Estructura del resto de la memoria .....	3
<b>2. Marco tecnológico.....</b>	<b>5</b>
2.1 Tecnología IA.....	8
2.2 Tecnología Pagina web .....	8
2.2.1 HTML (HyperText Markup Language).....	8
2.2.2 CSS (Cascading Style Sheets).....	8
2.2.3 JavaScript .....	8
<b>3. Especificaciones y restricciones de diseño .....</b>	<b>11</b>
<b>4. Descripción de la solución propuesta .....</b>	<b>13</b>
<b>5. Resultados .....</b>	<b>17</b>
5.1 Tema 1: Introducción a las señales en el dominio del tiempo .....	17
5.2 Tema 2: Sistemas en el dominio del tiempo .....	19
5.3 Tema 3: Análisis de Fourier para señales y sistemas de tiempo continuo .....	23
5.4 Tema 4: Análisis de Fourier para señales y sistemas en tiempo discreto .....	29
5.5 Encuesta.....	35
5.6 Página web.....	39
5.6.1 Panel principal.....	39
5.6.2 Información sobre la web.....	40
5.6.3 Guía técnica .....	40
5.7 Resumen de la asignatura.....	42
<b>6. Presupuesto .....</b>	<b>45</b>
<b>7. Impacto del proyecto.....</b>	<b>47</b>
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>49</b>
8.1 Líneas futuras y aspectos de mejores.....	50
<b>9. Referencias .....</b>	<b>51</b>



# **1. Introducción**

En los últimos años, el potencial de la Inteligencia Artificial (IA) ha experimentado un crecimiento exponencial, teniendo esta un aumento significativo en su aplicación tanto a nivel profesional como entre los usuarios comunes. Este fenómeno da lugar a reflexiones fundamentales sobre su futuro uso e implementación en diversas áreas, y en especial en el ámbito de la docencia en todos sus niveles [2-9].

Se han desarrollado diversos estudios de aplicación de estas herramientas en la educación universitaria, evaluando su capacidad para resolver algunos problemas particulares de materias técnicas correspondientes a diversos grados de ingeniería [5-9]. En la actualidad es un hecho que una gran cantidad de alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sistemas Informáticos (ETSIST) utilizan en mayor o menor grado alguna herramienta de IA generativa para consultar alguna duda o conseguir ayuda en la realización de diversas tareas académicas.

La finalidad de este proyecto es lograr una adecuada integración de una herramienta de IA en la docencia universitaria. En concreto, se pretende evaluar la eficacia de esta herramienta como tutor personalizado, enfocándose en la asignatura de Señales y Sistemas, impartida en el segundo curso para todos los grados de la escuela.

Mediante esta investigación, se determinará si una herramienta de IA puede ayudar a los estudiantes en el entendimiento de conceptos mediante explicaciones claras y accesibles. Se analizará la capacidad de la IA para adaptarse a diferentes situaciones, simulando de una manera realista diferentes estudiantes con diferentes niveles de conocimientos.

## **1.1 Marco y motivación del proyecto**

El marco de este proyecto se sitúa en el uso avanzado de herramientas de IA para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje. La IA, a través de modelos de aprendizaje automático y PLN (Procesamiento del Lenguaje Natural), ofrece nuevas formas de personalizar la educación, facilitando la comprensión de conceptos complejos y adaptándose a las necesidades individuales de cada estudiante.

La necesidad de este proyecto surge de la observación de que los métodos tradicionales de enseñanza no siempre logran captar la atención de los estudiantes ni adaptarse a sus ritmos de aprendizaje individuales. Además, muchos conceptos importantes en la asignatura de Señales y Sistemas pueden ser difíciles de entender sin una herramienta interactiva que permita una exploración más profunda y personalizada.

El uso de la IA en la educación superior, y en particular en esta asignatura, pretende no solo facilitar la comprensión de los conceptos teóricos, sino también preparar a los estudiantes para un mundo donde la tecnología juega un papel cada vez más central. Este proyecto

también busca proporcionar una guía que pueda ser utilizada por futuros estudiantes y profesores, ayudando a resolver problemas conceptuales mediante el uso de chat interactivo con IA.

El objetivo general de este proyecto es desarrollar una guía de uso de una herramienta de IA generativa para que sirva como soporte al estudio de una asignatura de grado de esta Escuela, concretamente Señales y Sistemas. Esta guía, describirá estrategias eficientes de interacción con ChatGPT para obtener respuestas correctas y de nivel adecuado en el contexto de la asignatura mencionada.

En líneas generales el proyecto tiene como objetivo mejorar la calidad de la enseñanza y el aprendizaje en la asignatura de Señales y Sistemas mediante la implementación de herramientas de IA, ofreciendo una experiencia educativa más rica y personalizada para los estudiantes.

## **1.2 Objetivos técnicos y académicos**

Los objetivos de este proyecto fin de carrera son:

- Estudiar las características principales de varias herramientas de gratuitas de IA generativa [10-13] y seleccionar una para el desarrollo del resto del trabajo.
- Obtener un refinamiento de las instrucciones de entrada que se le deben dar a la herramienta de IA seleccionada para que esta explique con claridad la mayoría de los conceptos relativos al contenido de la asignatura “Señales y Sistemas” [14] [15]. Para cada pregunta que se considere, en caso de no obtener una respuesta adecuada, se planteará de nuevo cambiando la instrucción, hasta llegar a una respuesta satisfactoria.
- Establecer una estrategia de formulación de instrucciones de entrada para que la herramienta seleccionada genere una respuesta correcta, de nivel adecuado y clara para cada cuestión relativa al contenido de la asignatura.
- Recopilar los casos estudiados incluyendo una valoración de la fiabilidad de la respuesta generada para cada pregunta. Se debe recopilar en un sistema que permita la posterior valoración por parte de los alumnos de la utilidad de las respuestas obtenida para cada una de las preguntas planteadas.
- Recopilar los casos en los que la respuesta obtenida (tras múltiples iteraciones de pregunta-respuesta) por parte de la herramienta de IA generativa sea imprecisa, poco clara o incluso errónea.
- Elaborar un catálogo de preguntas y una guía de recomendaciones de uso académico de la herramienta. Este catálogo y guía tendrá la forma de una página web dinámica en la que se presentarán las recomendaciones para elaborar una pregunta a la IA junto con el catálogo de preguntas refinadas que se ha obtenido anteriormente. De este modo un alumno podrá consultar en ese catálogo clasificado por temas si hay

preguntas relativas a sus dudas o en caso contrario encontrará una descripción de cómo formular preguntas a la IA de manera eficiente.

- Realización de una encuesta a alumnos de la asignatura. Se planteará que resuelvan una tarea concreta con el apoyo de una herramienta de IA generativa y se les consultará, mediante encuesta anónima, si consideran de ayuda la respuesta dada por la herramienta.
- Aprendizaje sobre el uso de IA: Aunque como es normal en la actualidad, ya había trabajado con IA para resolver problemas propios de la docencia en asignaturas más avanzadas, por lo que aparentemente más complicadas. Con este trabajo se ha podido ver y analizar más en profundidad los puntos fuertes y débiles de la IA y como sacar su máximo rendimiento posible.

### 1.3 Estructura del resto de la memoria

En los próximos capítulos de la memoria se ofrece información detallada sobre diversos aspectos del proyecto, estructurados de la siguiente manera:

- Marco Tecnológico: Se analiza el estado actual de las tecnologías empleadas en el proyecto. Se describen las herramientas de inteligencia artificial utilizadas, detallando sus características y ventajas específicas. Además, se presenta una revisión de las tecnologías disponibles que podrían complementar o mejorar el enfoque adoptado.
- Especificaciones y Restricciones de Diseño: Se detallan las especificaciones técnicas del proyecto, así como las restricciones de diseño que se deben considerar. Este capítulo proporciona una base sólida para entender los requerimientos que guían la implementación y las limitaciones que condicionan las soluciones propuestas.
- Descripción de la Solución Propuesta: Se presenta la solución desarrollada en el proyecto, incluyendo una descripción general del proyecto. Se explica las variables más importantes a la hora de programar la web además de adjuntar líneas de código ilustrativas.
- Resultados: Se muestran los resultados obtenidos tras la implementación de la solución. Se incluyen evaluaciones de desempeño y análisis comparativos que demuestran la efectividad del ChatGPT con *prompts* sobre los conceptos de la asignatura. Además, se incluye encuestas realizadas a los alumnos y una valoración objetiva de la IA.
- Presupuesto: Se desglosan los costos asociados al proyecto, incluyendo licencias de software, costos de hardware y otros recursos necesarios. Este capítulo proporciona una visión clara del financiamiento requerido y los gastos incurridos durante el desarrollo del proyecto.
- Impacto del proyecto: Se analiza el impacto del proyecto en diversos ámbitos, incluyendo el académico, tecnológico y social.
- Conclusiones y Trabajos Futuros: Se resumen las conclusiones del proyecto y se sugieren posibles trabajos futuros que podrían continuar o expandir la investigación.

Este capítulo proporciona una reflexión final sobre los hallazgos y el desarrollo del proyecto.

- Referencias: Se incluye una lista exhaustiva de las referencias bibliográficas utilizadas a lo largo del proyecto, facilitando la consulta de fuentes adicionales y proporcionando un respaldo teórico a los contenidos presentados.

## 2. Marco tecnológico

La inteligencia artificial ha tenido una presencia en el ámbito académico desde hace varias décadas, aunque su papel y aplicaciones han evolucionado significativamente con el tiempo. Desde los primeros sistemas expertos, programas de computación que imitan el proceso de toma de decisiones de un experto humano en un campo específico, en los años 60 y 70 [16] hasta las modernas aplicaciones de aprendizaje automático y procesamiento de lenguaje natural, la IA ha transformado muchas áreas de investigación y educación.

El campo de la Inteligencia Artificial ahora mismo está en pleno auge y está evolucionado significativamente en las últimas décadas, influyendo en múltiples áreas del conocimiento, sectores industriales y en nuestro día a día. En particular, su aplicación en la educación ha abierto nuevas posibilidades para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje, ofreciendo una nueva herramienta que puede personalizar la experiencia educativa y facilitar la comprensión de conceptos complejos.

Este proyecto se enmarca en el uso de IA para la enseñanza de la asignatura de Señales y Sistemas, impartida en el segundo curso de todas las especialidades de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sistemas Informáticos. Ya se han hecho una gran cantidad de proyectos donde se estudian los beneficios y desafíos del uso de ChatGPT, en la educación superior desde una perspectiva totalmente objetiva. En estos trabajos [17] se obtienen distintos beneficios potenciales como el aprendizaje adaptativo y personalizado, la investigación y análisis de datos entre otros.

La inteligencia artificial, y en particular el subcampo del procesamiento del lenguaje natural ha avanzado considerablemente gracias a desarrollos como los modelos de lenguaje generativos. El modelo en el que se centrará este trabajo y el que más destaca es ChatGPT de la empresa norteamericana OpenAI, el cual es un *chatbot* [18] que es capaz de comprender y generar texto de manera coherente y contextualmente relevante. Estas tecnologías se están utilizando para crear asistentes educativos virtuales, herramientas de tutoría automatizadas y sistemas de apoyo al aprendizaje.

Centrándonos en la educación de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) [19] y desde la parte del profesorado podemos distinguir 6 tipos de aplicaciones de la IA (véase la figura 1):

-Predicción de aprendizaje: La primera categoría de aplicaciones de IA en la educación STEM (Science, Technology, Engineer, Math) es la predicción del aprendizaje; el ejemplo debería ser algo así como sistemas que predicen el rendimiento o el estado del aprendizaje de los estudiantes de antemano a través de algoritmos de IA y enfoques de modelado.

-Sistemas de tutoría inteligente: La segunda categoría de aplicaciones de IA en la educación STEM es el sistema de tutoría inteligente, definido como un sistema habilitado para IA que fue diseñado para brindar instrucción o retroalimentación personalizada a los estudiantes y promover un aprendizaje personalizado y adaptativo.

-Detección del comportamiento de estudiantes: La tercera categoría de aplicaciones de IA en la educación STEM es la detección del comportamiento de los estudiantes, que se refiere a sistemas para explotar y rastrear los comportamientos, patrones y características de aprendizaje de los estudiantes con minería de datos y análisis de aprendizaje habilitados por IA en los procesos de instrucción y aprendizaje.

-Automatización: La cuarta categoría es la automatización, que utilizaba tecnologías de IA para evaluar automáticamente el desempeño de los estudiantes y generar preguntas o tareas para los instructores.

-Robots educativos: La quinta categoría son los robots educativos, que consisten en la adopción de robots en la educación STEM para facilitar la experiencia de aprendizaje de los estudiantes y permitirles adquirir conocimientos de manera interactiva.

-Otros: Dentro de esta última categoría cabe a destacar la formación de grupos de estudiantes dentro de clase basado en algoritmos genéticos para formar así dichos grupos con un alto grado de aprendizaje colaborativo en función de sus habilidades y rasgos de personalidad [20]

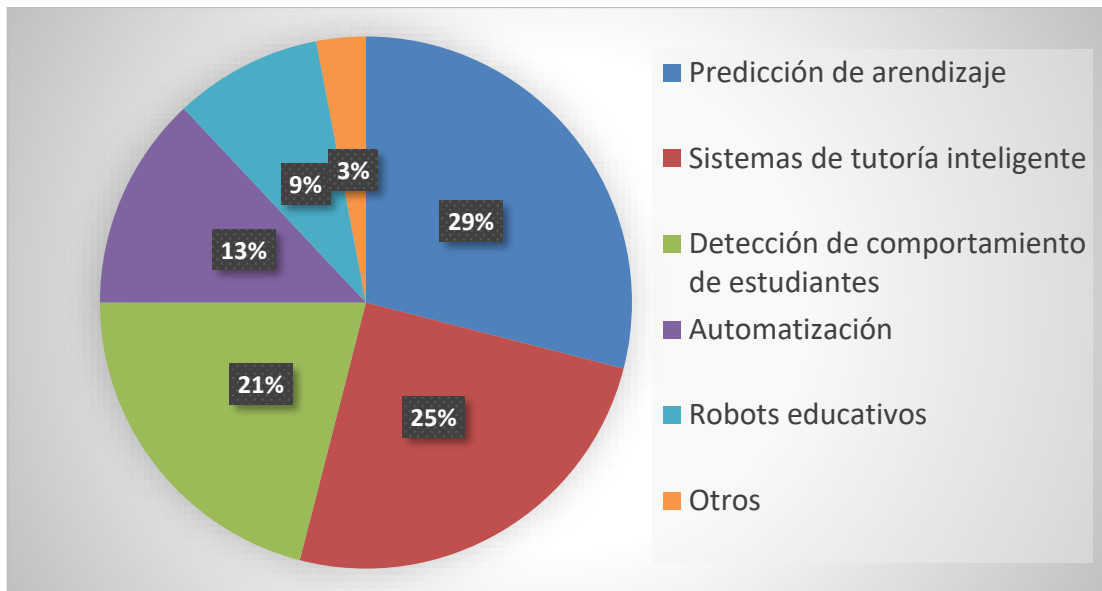


Figura 1. Categorías para la aplicación de la IA en educación STEM [3]

Una vez se tiene una idea general de lo que es la IA y la importancia actual que tiene esta en la educación, se puede dar más contexto sobre el origen, historia y uso del ChatGPT [21]. OpenAI lanzó la primera versión de ChatGPT en noviembre de 2022 con el objetivo de avanzar en el campo del procesamiento del lenguaje natural y hacer que las tecnologías de IA sean accesibles y beneficiosas para todos, ya que cuando se fundó OpenAI (2015, California, EEUU) era una empresa de investigación y despliegue de inteligencia artificial, sin ánimo de lucro cuya misión original era asegurar que la inteligencia artificial general fuese desarrollada como código libre y en beneficio de toda la humanidad.

Volviendo a lo que es el ChatGPT [22] [23] básicamente, se trata de una nueva tecnología que genera textos a partir de las preguntas de los usuarios; es decir, tiene la capacidad de crear

contenido “original” y de alta exactitud, en lugar de apenas reproducir información de un banco de datos, a partir de las cuestiones que se le planteen. Resulta un modelo de lenguaje basado en la arquitectura de transformadores, de ahí proceden sus siglas GPT (Generative Pretrained Transformer), entrenado en grandes volúmenes de texto para generar respuestas contextuales correctas y relevantes. En el contexto educativo, ChatGPT se utiliza para:

- Explicación de Conceptos: Proporciona explicaciones detalladas de conceptos teóricos, adaptándose al nivel del usuario.
- Generación de Ejemplos Prácticos: Crea ejemplos y problemas prácticos que ayudan a los estudiantes a aplicar los conceptos teóricos aprendidos.
- Retroalimentación: Ofrece retroalimentación inmediata y sugerencias para mejorar el entendimiento y la solución de problemas.
- Resolución de problemas: Permite analizar problemas y producir soluciones a las preguntas que se formulan.

Concretando más el marco tecnológico hacia este proyecto, se podría distinguir los siguientes beneficios para la asignatura SyS usando la IA:

- Explicación y tutoría personalizada de conceptos: La IA puede ayudar a resolver dudas teóricas proporcionando explicaciones detalladas al estudiante. Además, puede personalizar la enseñanza, ajustando la dificultad y el enfoque de las explicaciones, mejorando así la retención de conceptos complejos y ofreciendo ejemplos específicos según las necesidades individuales del alumno.
- Resolución de Problemas: La IA puede asistir en la resolución de problemas matemáticos y de simulación, proporcionando explicaciones paso a paso y verificando soluciones.
- Visualización de Datos: Herramientas de IA pueden generar gráficos y simulaciones dinámicas para ilustrar diferentes conceptos.

Además de la herramienta de la IA, existen otras herramientas complementarias para ayudar a entender los conceptos de esta asignatura las cuales son:

- MATLAB y Simulink: Utilizados extensamente en la educación de Señales y Sistemas, estos programas permiten a los estudiantes realizar simulaciones y visualizar resultados de manera efectiva. MATLAB proporciona una interfaz amigable para la manipulación de señales, mientras que Simulink facilita la modelación y simulación de sistemas dinámicos.
- Python con Bibliotecas Especializadas: Aunque esta herramienta no se use actualmente se podrían usar bibliotecas de Python como NumPy, SciPy y Matplotlib que son herramientas clave en el análisis y visualización de señales.

## 2.1 Tecnología IA

Para el presente proyecto, ChatGPT se utilizó como plataforma principal para interactuar, ofreciendo explicaciones detalladas y personalizadas sobre los conceptos de la asignatura de Señales y Sistemas. Esta herramienta permitió responder a preguntas teóricas y prácticas, haciendo posible crear una futura guía que ayudará a los estudiantes a entender mejor los temas tratados en la asignatura. Al principio se usaron otras herramientas como Gemini, pero finalmente basamos la guía en ChatGPT dado su buen rendimiento y reconocimiento.

## 2.2 Tecnología Pagina web

La página web se basa en 3 de los lenguajes más usados en la actualidad en este ámbito.

### 2.2.1 HTML (HyperText Markup Language)

- Proporciona la estructura y el contenido básico de la página web [24-26]
  - Estructura: El archivo HTML define una estructura clara, organizada en varias secciones que facilitan la navegación y el acceso a la información. La estructura incluye un panel central para la interacción principal y paneles adicionales para información específica de cada tema.
  - Contenido: Se utilizan elementos HTML como `<div>`, `<button>`, `<select>`, y `<ul>` para organizar y mostrar el contenido de manera coherente.

### 2.2.2 CSS (Cascading Style Sheets)

- Mejora la presentación visual de la página web [25] [27]
  - Estilos Globales: Se aplican estilos básicos a todos los elementos para asegurar un diseño coherente.
  - Fondo Difuminado: Se utiliza un fondo con desenfoque para proporcionar un contexto visual atractivo sin interferir con el contenido principal.
  - Diseño de Paneles: Los paneles centrales y de temas están estilizados con bordes redondeados, sombras, y fondos semitransparentes. Todo estos con la finalidad de mejorar la legibilidad y que la web sea más atractiva para el usuario.
  - Botones Interactivos: Los botones están diseñados para ser intuitivos, con cambios de color al pasar el ratón por encima para indicar interactividad.

### 2.2.3 JavaScript

- Añade interactividad y control dinámico sobre la página [28-29]
  - Manejo de Temas: Las funciones de JavaScript controlan la visualización de paneles según la selección de temas, asegurando que solo se muestre el contenido relevante al usuario.

- Navegación Dinámica: Permite ocultar y mostrar paneles de preguntas y respuestas según las acciones del usuario, facilitando una navegación fluida y centrada en la consulta específica.
- Interacción del Usuario: Funciones como `mostrarTema()`, `volverAlMenu()`, y `mostrarPregunta()` permiten al usuario interactuar con la página de manera intuitiva, mostrando u ocultando secciones de contenido según sea necesario.



### **3. Especificaciones y restricciones de diseño**

Las especificaciones y restricciones de diseño que este proyecto debe cumplir son las siguientes:

- Uso de una herramienta de IA generativa de acceso gratuito. Inicialmente se analizará el comportamiento de varias herramientas ante un concepto concreto y se elegirá una de ellas para la realización del proyecto.
- Se deberá realizar un análisis centrado en los contenidos de la asignatura Señales y Sistemas, impartida en el segundo curso para todos los grados de la ETSIST. Se deberá abarcar todo el temario correspondiente a la asignatura [14].
- Se deberá evaluar la corrección de las respuestas obtenidas de la herramienta a diferentes preguntas (tras su refinamiento) por comparación con la documentación disponible acerca de la asignatura [14] [15]. Se deberá incluir una valoración de la fiabilidad de las respuestas a cada una de las preguntas.
- Se deberá obtener una documentación exhaustiva del sistema desarrollado, incluyendo una descripción de la mejor estrategia encontrada para la formulación de instrucciones a la IA.
- La página web diseñada deberá tener una interfaz de usuario intuitiva que facilite su uso. Deberá ser compatible con los navegadores más habituales y alojará contenido exclusivamente creado en este proyecto.



## 4. Descripción de la solución propuesta

La solución propuesta para este proyecto ha sido el desarrollo de una guía para usar el ChatGPT de una forma eficiente en la asignatura de Señales y Sistemas. Para implementar el desarrollo de esta guía, se diseñará una página web que contenga *prompts* adecuados para que ChatGPT proporcione explicaciones relativas a conceptos fundamentales de la asignatura, así como aclaraciones a dudas y errores recurrentes de los alumnos.

El proyecto busca integrar ChatGPT en la enseñanza de la asignatura Señales y Sistemas mediante una página web interactiva. La solución permitirá a los estudiantes resolver problemas conceptuales, acceder a explicaciones detalladas y visualizar conceptos complejos de la materia.

ChatGPT ha sido elegido IA central del proyecto por varias razones. Su capacidad para generar texto coherente y relevante en diversos contextos resulta esencial para proporcionar explicaciones claras y adaptadas a distintos niveles de comprensión. Esta flexibilidad en la generación de respuestas permite una experiencia de aprendizaje más personalizada y eficaz en comparación con otras IA. También se destaca por su acceso a una base de conocimientos constantemente actualizada, lo que asegura en un alto porcentaje que las respuestas reflejen un conocimiento adecuado en el campo de la ingeniería de señales y sistemas. Las pruebas han mostrado que ChatGPT supera a otras IA en términos de precisión en la resolución de problemas y generación de explicaciones detalladas.

Estas conclusiones se han sacado ya que tanto con el primer como el segundo tema también se tomó en cuenta otra IA como lo es *Gemini* (o *Bard* cuando se empezó el proyecto). Aunque *Gemini* ofrecía ventajas significativas, como la capacidad de adjuntar fotos, esta característica representó un beneficio solo hasta junio de 2024. A partir de ese mes, OpenAI permitió el uso de ChatGPT-4, el cual también soporta la carga de imágenes y documentos diversos, de manera gratuita, aunque con un límite en la cantidad de solicitudes permitidas, las cuales se recargan cada cierta hora.

Volviendo a *Gemini*, se observó que las respuestas generadas con esta inteligencia artificial, utilizando los mismos *prompts*, tendían a ser de un nivel mucho más general. A pesar de especificar que las respuestas debían centrarse exclusivamente en la asignatura SyS, las respuestas seguían siendo demasiado generales. Aunque correctas, no cumplían con el nivel de detalle específico que se requería. Además de poder adjuntar fotos, *Gemini* tenía algún aspecto notable más respecto al ChatGPT, como el que ponía enlaces a distintos sitios web donde sacaba la información, aspecto que la versión ChatGPT-4 también lo hace. Un aspecto que sí era bastante interesante de esta IA y el ChatGPT todavía no lo ha implementado, es que en algunas explicaciones en las cuales no encuentra mucha información sobre ello se muestra en rojo, recalcándolo para que se revise y se tenga en cuenta.

Como último apunte, se observa que la interfaz de *Gemini*, en comparación con la de ChatGPT, parece menos pulida y funcional. Este fenómeno podría deberse a la familiaridad prolongada

con ChatGPT o a la novedad de *Gemini*. Además, mientras se usaba *Gemini* se dieron fallos ocasionales en el chat, como no cargar correctamente el chat anterior. Este problema es muy considerable, ya que la posibilidad de revisar el historial de chat con la inteligencia artificial es esencial para el estudio, y dichos fallos impactarían negativamente la experiencia del usuario.

Para el desarrollo de la página web, se emplearán tecnologías modernas como HTML, CSS y JavaScript con el objetivo de crear una interfaz intuitiva y accesible. Esta plataforma está diseñada para guiar a los estudiantes en el uso eficaz de la inteligencia artificial ChatGPT, ofreciendo preguntas que hacer a la IA para así conseguir una explicación correcta sobre la duda que tengan.

Concretando un poco más sobre la creación técnica de la web se usaron las tres tecnologías ya citadas:

- **Estructura HTML:**
  - La página cuenta con un panel central (center-panel) donde los usuarios pueden seleccionar temas y acceder a la información de la asignatura.
  - Los paneles de tema (tema-panel) están diseñados para mostrar preguntas y respuestas específicas, y se ocultan o muestran dinámicamente según la interacción del usuario.
  - Un panel de información (info-panel) proporciona instrucciones sobre cómo utilizar la página y obtener el máximo provecho de la interacción con ChatGPT.

A continuación, se muestra una parte del código la cual se encarga de la creación del panel principal (véase la Figura 2), panel de información (véase la Figura 3) y panel del tema 1 ((véase la Figura 4), siendo para el resto de los temas similar.

```
<!-- Panel Central -->
<div class="center-panel" id="main-panel">
  <div class="info-button" onclick="mostrarInfo()">
    
  </div>

  <h2>¿En qué tema necesitas ayuda?</h2>
  <select id="tema-selector">
    <option value="tema1">Tema 1</option>
    <option value="tema2">Tema 2</option>
    <option value="tema3">Tema 3</option>
    <option value="tema4">Tema 4</option>
  </select>
  <button onclick="mostrarTema()">Mostrar Tema</button>
  <div class="asignatura">Asignatura: Señales y sistemas</div>
</div>
```

Figura 2. Código HTML para el panel principal

```

<!-- Panel de Información -->
<div class="info-panel" id="info-panel">
  <h2>Información sobre el uso de la web</h2>
  <p>En esta web puedes encontrar ayuda sobre distintos temas relacionados con Señales y Sistemas.
  Usa el selector para elegir un tema y presiona "Mostrar Tema" para acceder al contenido correspondiente.
  En cada tema te aparecen prompts (mensajes para ChatGPT), sobre diferentes conceptos, para que este te los
  explique de una manera eficaz y sencilla.
  Navega entre los temas usando los botones de navegación.</p>
  <button onclick="volverAlMenu()">Volver al Menú Principal</button>
</div>

```

Figura 3. Código HTML para el panel de información

```

<!-- Panel para Tema 1 -->
<div class="tema-panel" id="tema1-panel">
  <h2>Tema 1: Introducción a las señales en el dominio del tiempo.</h2>
  <div class="scrollable-container">
    <ul>
      <li>
        <button onclick="mostrarPregunta('pregunta1', 'tema1')">1. Señales: Definición y clasificación.</button>
        <div id="pregunta1-panel-tema1" class="pregunta-panel">
          <h3>Frases para IA:</h3>
          <ul>
            <li>Explicame la definición de señales en el dominio del tiempo.</li>
          </ul>
          <button onclick="volverATema('tema1')">Cerrar</button>
        </div>
      </li>
      <li>
        <button onclick="mostrarPregunta('pregunta2', 'tema1')">2. Transformaciones de la variable independiente y propied
        <div id="pregunta2-panel-tema1" class="pregunta-panel">
          <h3>Frases para IA:</h3>
          <ul>
            <li>Me puedes explicar las transformaciones de la variable dependiente (Desplazamiento, reflexión y cambio
            <li>Me podrías explicar las siguientes propiedades de la señal (Simetría, periodicidad y causalidad)</li>
            <li>¿Cómo afectan las transformaciones a las señales temporales?</li>
          </ul>
          <button onclick="volverATema('tema1')">Cerrar</button>
        </div>
      </li>
      <li>
        <button onclick="mostrarPregunta('pregunta3', 'tema1')">3. Estudios de señales básicas.</button>
        <div id="pregunta3-panel-tema1" class="pregunta-panel">
          <h3>Frases para IA:</h3>
          <ul>
            <li>¿Cuáles son las señales básicas en el dominio del tiempo?</li>
          </ul>
          <button onclick="volverATema('tema1')">Cerrar</button>
        </div>
      </li>
    </ul>
  </div>
  <div class="navigation-buttons">
    <button class="anterior" onclick="irATema('tema4')">Tema Anterior</button>
    <button onclick="volverAlMenu()">Volver al Menú Principal</button>
    <button class="siguiente" onclick="irATema('tema2')">Siguiente Tema</button>
  </div>
</div>

```

Figura 4. Código HTML para el panel del Tema 1

- **Estilos CSS:**
  - Fondo Difuminado: El fondo de la página utiliza una imagen difuminada para crear un efecto visual suave y agradable, que no distrae del contenido principal a la vez que hace más agradable visualmente la web.
  - Paneles y Botones: Los estilos de los paneles y botones están diseñados para ser coherentes y accesibles, con colores de alto contraste y efectos de hover para mejorar la usabilidad.
  - Contenedores Desplazables: Los contenedores con desplazamiento (scrollable-container) permiten a los usuarios navegar por listas de preguntas de manera eficiente, manteniendo un diseño limpio y ordenado.

En la Figura 5 se muestra una parte del código del panel central.

```
/* Panel Central */
.center-panel {
  background: ■ rgba(255, 255, 255, 0.9); /* Fondo blanco con opacidad */
  padding: 20px; /* Espaciado interno del panel */
  border-radius: 10px; /* Esquinas redondeadas, cuanto mayor px mas redondo */
  box-shadow: 0 4px 8px □ rgba(0, 0, 0, 0.1); /* Sombra alrededor del panel */
  text-align: center; /* Texto centrado */
  z-index: 1; /* Coloca el panel sobre otros elementos */
  position: relative; /* Posición relativa a su contenedor */
}
```

Figura 5. Código CSS para el estilo del panel central

- **Funciones JavaScript:**
  - **Control de Visualización:** Funciones como `mostrarTema()` y `volverAlMenu()` gestionan la visibilidad de los paneles, permitiendo una navegación dinámica basada en las selecciones del usuario.
  - **Interactividad:** `mostrarPregunta()` y `ocultarPreguntaPaneles()` gestionan la visualización de preguntas y respuestas, proporcionando una experiencia interactiva y orientada al usuario.

Los beneficios esperados de esta solución incluyen una mejora significativa en la comprensión de los estudiantes sobre conceptos complejos gracias a las explicaciones detalladas y personalizadas de ChatGPT. Además, al permitir el acceso a recursos educativos en cualquier momento, se facilita el estudio fuera del horario de clases, promoviendo la autonomía en el aprendizaje. La automatización en la resolución de problemas y la explicación de conceptos también contribuirá a reducir la carga de trabajo de los profesores, permitiéndoles centrarse en tareas pedagógicas más avanzadas.

## 5. Resultados

En este capítulo se va a centrar en las respuestas obtenidas a diferentes preguntas sobre el temario de la asignatura, viendo e interpretando dichas respuestas nos centraremos en puntos fuertes y débiles del ChatGPT a la hora de explicar conceptos teóricos. En cada una de las siguientes subsecciones describiremos cualitativamente los resultados obtenidos para cada concepto. Parte de estos resultados han sido publicados en una comunicación a un congreso internacional [30].

Antes de empezar con el tema 1, se le envió a la IA un mensaje introductorio sobre el contexto general de las preguntas que realizaré en este chat. Se le indica que se pretende estudiar una asignatura concreta (Señales y Sistemas), de un Grado de Ingeniería dentro de la ETSIST (se puede especificar cualquier de los 5 Grados de la ETSIST en los que se imparte esta asignatura) perteneciente a la UPM.

### 5.1 Tema 1: Introducción a las señales en el dominio del tiempo

Este primer tema va a servir como base para el alumnado por lo que nos interesan conceptos básicos como:

- Clasificación de señales por sus dimensiones y las dimensiones de su variable independiente.
- La distinción entre variables continuas y discretas.
- Transformaciones de la variable independiente.
- Propiedades de la señal.
- Análisis de señales básicas.
- Energía y potencia de una señal.

Las primeras respuestas proporcionadas por la IA fueron incorrectas, en parte debido a que la forma de preguntar no era buena tampoco, ya que, si no se limita lo suficiente, la IA tiende a ofrecer explicaciones generales. Lo cual, puede ofrecer resultados que, aunque no sean completamente incorrectos, son inadecuados para el contexto específico de esta asignatura.

Este suceso se observa ver desde el principio del tema. Al clasificar las señales, presenta una clasificación con sentido, pero no la que se busca para esta asignatura. En esta cuestión, aun concretando *“No sería más fácil hacer una clasificación dependiendo si es una o varias variables y unidimensional o de varias dimensiones?”*, nos sigue dando una respuesta incorrecta. La IA no realiza la clasificación de manera del todo correcta, ya que aborda los dos apartados de una manera muy similar. Para conseguir una clasificación correcta la división que hay que hacer es entre dimensión de la función y dimensión de la variable independiente. Por ejemplo, una función unidimensional de una sola variable independiente sería un valor en un determinado tiempo, una función bidimensional de una sola variable independiente sería la velocidad en un instante de tiempo, ya que la velocidad para definirla de forma correcta hace falta su valor (módulo) y dirección. Un ejemplo de una función unidimensional de varias

variables independientes sería un píxel en una escala de grises ya que para saber el valor hace falta saber el valor horizontal y el vertical (x, y) y nos da un único valor (Y). Y por último una función multidimensional de varias variables independientes sería un píxel en una imagen RGB, ya que igual que en la escala de grises hace falta saber (x, y) pero ahora el valor que nos da dicha función es de tres dimensiones RGB. Por lo que para la clasificación de momento no he conseguido obtener una respuesta correcta y fiable ya que creo que la clasificación que usamos puede que no sea típica o sea bastante concreta.

A continuación, se le pregunta *“Que es una señal de tiempo continuo y que es una señal de tiempo discreto”* a estas ambas preguntas responde de una manera bastante correcta además de mostrar ejemplos de manera que la explicación es más completa y fácil de entender. Refinando más los *prompts* se consiguieron los mejores resultados, siendo el *prompt* más efectivo el siguiente *“Explícame la definición de señales en el dominio del tiempo”*.

Con respecto a las transformaciones si se le pregunta sobre los tipos que hay, responde de una manera que no es la deseada. La IA explica las transformaciones de señales en sí como la transformada de Fourier, transformada de Laplace o transformada Z, cuando lo que se busca realmente eran las transformaciones de variable independiente (desplazamiento temporal, reflexión y escalamiento. Se le pregunta exactamente *“que tipo de transformaciones de la variable independiente”* y es entonces cuando explica las transformaciones buscadas (desplazamiento temporal, escalamiento temporal...) aunque da alguna más que su definición no es del todo correcta (como el desplazamiento en Frecuencia, que llama modulación erróneamente).

El siguiente concepto que se le pregunta es sobre las propiedades de las señales y en este apartado ocurre como en el anterior. Da las propiedades que se quieren, pero junto a otras que no interesan, por lo que hay que tener cuidado y no fiarse de la IA sin verificar los resultados. Nos da las siguientes doce propiedades: amplitud, frecuencia, periodicidad, simetría, duración, energía y potencia, causalidad, invertibilidad, estabilidad, linealidad, tiempo real o discreto, escala de tiempo. La asignatura se centra en la periodicidad, simetría, causalidad energía y potencia. La explicación sobre y energía y potencia también podrían llegar a tener sentido, pero las que hay que remarcar que son incorrectas son las de invertibilidad, linealidad y estabilidad (propiedades de un sistema) y las últimas dos sin importancia de la misma manera. Por lo que a continuación se le pide si se puede centrar en simetría, periodicidad y causalidad, aunque como ya se explicara más adelante, esta forma de preguntar varios conceptos a la vez no es la más adecuada. El ChatGPT da una respuesta correcta para el caso de la simetría y de la periodicidad explicando cada tipo correspondiente. Sin embargo, en la causalidad da una definición incorrecta. Como explicó mal este último concepto, se le vuelve a preguntar con el siguiente *prompt*: *“La definición de causal que me diste es incorrecta para señales. Una señal es causal cuando  $x(t) = 0$ ; para toda  $t < 0$ ”*.

Un punto relevante por considerar es que esta pregunta se le hizo más tarde para ver como la IA recordaba conceptos ya preguntados con antelación. Pero como todas las preguntas se hicieron en el mismo chat y la IA tiene memoria, se acuerda de la definición que había dado

sin tener que repetírsela. Como suele hacer la IA, y ya se explicará más tarde, nos da la razón y ahora sí que nos dice la respuesta correcta. A continuación, le pedimos un ejemplo y también nos lo dio de una manera correcta.

También se le pregunta sobre las señales básicas y que las dividiera en tiempo continuo y tiempo discreto, obteniendo un buen resultado, dando en ambos casos señales esenciales e importantes para esta asignatura.

Como último concepto de este tema se le pide una explicación de los conceptos de energía y potencia de una señal de una manera simple y corta a lo que nos da una respuesta muy completa proporcionándonos una definición, fórmulas tanto para señal continua como discreta de ambos conceptos, la interpretación de cada una y diferencias claves. Aun así, esta respuesta no es correcta del todo, ya que en la potencia le falta dividir dependiendo si es la señal es periódica o no, por lo que el siguiente *prompt* que se la hizo fue: *"Para el cálculo de la potencia no hay que diferenciar si la señal es periódica o no periódica?"*. Con esta nueva interacción sí que se consigue la fórmula correspondiente a usar si la señal es periódica o no periódica. Al principio al no especificar solo lo hace para señales en tiempo continuo, pero a continuación se le concreta para tiempo discreto y responde correctamente con las fórmulas correspondientes.

Como ya se explicará en el puto 5.3, todos los temas han sido estudiados tanto con la versión 3.5 como con la 4. En este primer tema la nueva versión nos muestra una gran mejora usando los mismos *prompts*, o incluso menos específicos. que con la versión 3.5. Con los *prompts* que se obtuvieron mejores resultados en la primera versión, obtenemos en todo el tema respuestas correctas y específicas casi en todo momento. Los únicos conceptos que explica de una manera más general y menos completa, aunque esta sigue siendo correcta, es a la hora de definir una señal y explicando las señales básicas.

## 5.2 Tema 2: Sistemas en el dominio del tiempo

Este apartado va a tratar sobre los resultados obtenidos en cuanto a la interacción con la IA con conceptos sobre sistemas en el dominio del tiempo como:

- Definición de sistema.
- Propiedades de sistema.
- Interconexión de sistemas.
- Sistemas Lineales Invariantes en el Tiempo (LTI).
- Suma de convolución.
- Integración de convolución.

Una vez acabadas las preguntas del tema 1, se puso en contexto a la IA para que no se diera ningún tipo de error o confusión, explicando conceptos entre temas, por lo que se le introdujo con el siguiente *prompt* *"Buenos vamos a pasar al siguiente tema si le parece bien"*. Consiguientemente se le dijo *"Buenas tardes, el tema que me gustaría abordar se llama "Sistemas en el dominio del tiempo", por lo que si le parece bien podría usted empezar*

definiendo que es un sistema”, a lo que responde no solamente responde con una buena definición de sistema, sino que además explica sus componentes (Entrada, Función y Salida), una clasificación de sistemas y su correspondiente representación matemática  $(x(t),y(t))$ . Teniendo en cuenta las consideraciones del tema 1, se verifica la propiedad de linealidad de manera individual, lo que, en principio, debería proporcionar una respuesta más completa y correcta. Se logra parcialmente ya que identifica las dos propiedades de la linealidad, aditividad y proporcionalidad (el Chat le llama Homogeneidad). Pero hay que tener en cuenta que aunque el contenido de lo que dice es correcto lo que llama el cómo aditividad es la propiedad de la linealidad, la propiedad de aditividad se refiere a:

$$T\{x_1(t) + x_2(t)\} = T\{x_1(t)\} + T\{x_2(t)\}. \quad (1)$$

Sin embargo, el ChatGPT la expresa como:

$$T\{a \cdot x_1(t) + b \cdot x_2(t)\} = a \cdot T\{x_1(t)\} + b \cdot T\{x_2(t)\}, \quad (2)$$

donde:

- $T\{\cdot\}$  Representa la operación realizada por el sistema,
- $x_1(t)$  y  $x_2(t)$  son señales de entrada,
- $a$  y  $b$  son constantes reales.

Para abordar las propiedades de los sistemas de manera más eficiente, en lugar de preguntarlas individualmente, se opta por analizar todas simultáneamente. Estas propiedades incluyen la invarianza en el tiempo, la memoria, la causalidad, la estabilidad y la invertibilidad. Para cada propiedad, proporciona una definición concisa junto con su correspondiente expresión matemática, siendo ambas correctas.

Una vez finalizado el análisis de las propiedades del sistema, se procede a explorar el siguiente concepto fundamental: los sistemas Lineales e Invariantes en el Tiempo (LTI). Se le pide su definición acompañada de un ejemplo explicativo. Dado que este concepto es esencial y fundamental en el estudio de los sistemas, la explicación correspondiente esta perfecta.

Seguidamente, y en línea con lo anteriormente discutido, se aborda el concepto de la suma de convolución. Aunque la explicación del concepto es correcta, cabe a destacar el cálculo de la duración. Ya que para el cálculo de este hay que sumar el cómputo de ambas señales mientras que la IA considera únicamente la duración de la señal más larga, por lo que la explicación de este concepto no estaría completa. Además de este error, antes de que nos diera la explicación correcta, fue necesario reformular la pregunta y especificarle que explicara la suma de convolución en tiempo discreto (TD), ya que al principio explicó la integral de convolución, la cual es análoga a la suma de convolución de TD, pero siendo está en tiempo continuo (TC).

En cuanto a las consecuencias de la suma de la convolución, la explicación no es del todo clara ya que, en lugar de abordar la consecuencia de esta suma, se enfoca en las propiedades la cual era la siguiente pregunta planteada. Estas propiedades las define de una manera muy

correcta comentando la propiedad conmutativa, asociativa y distributiva, además de poner fórmulas en cada una (además de estas tres proporciona más propiedades como la relación con la transformada Z).

A continuación, se procede a preguntar sobre los sistemas en Tiempo Continuo (TC). Se solicita una explicación detallada de la integral de convolución, la cual, aunque ya había sido abordada previamente debido a un error, es ahora proporcionada de manera precisa. La IA explica de manera clara el proceso de cálculo, la interpretación del resultado y ofrece ejemplos. Sin embargo, se observó la ausencia de una expresión final que igualara el resultado tal que:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau = x(t) * h(t) , \quad (3)$$

donde:

- $x(t)$  es la entrada,
- $h(t)$  es la respuesta al impulso,
- $y(t)$  es el resultado de la integral de convolución.

Posteriormente se le pregunta por sus propiedades e igual que en caso discreto nos da una lista de seis propiedades, de las cuales nos interesan solo tres (propiedad conmutativa, asociativa y distributiva).

Una vez acabado tanto la suma de convolución como la integral de convolución, y concretando más en los sistemas LTI y se le pide que defina la propiedad de memoria. La definición en sí es correcta pero además de esta definición nos aporta un ejemplo que según el ChatGPT es sin memoria:

$$y(t) = 2x(t) + 3x(t - 1). \quad (4)$$

Este ejemplo es claramente un ejemplo de un sistema con memoria. Obviamente se le ha corregido después, y como siempre hace, nos da la razón diciendo que es un sistema con memoria. Por lo que a continuación se le pide un ejemplo de un sistema LTI sin memoria y ahora sí que muestra el único ejemplo de sistema LTI sin memoria que es el siguiente:

$$y(t) = k * x(t) . \quad (5)$$

Tras esta breve corrección sobre la memoria, se continúa indagando en las propiedades de los sistemas LTI. En esta ocasión, se plantea una pregunta acerca de la causalidad, propiedad que es explicada correctamente tanto en tiempo discreto (TD) como en tiempo continuo (TC), con la excepción de una frase que se comentará al final de este subapartado.

Seguidamente se le pregunta sobre estabilidad, la cual también explica parcialmente bien ya que la divide en dos tipos de estabilidad para sistemas LTI: Estabilidad BIBO (bound input, bound output), la cual es correcta y Estabilidad en el Sentido de la Entrada, la cual es una estabilidad completamente inventada. Aprovechando este error, lo que se hizo, fue no volver a preguntarle sobre este concepto y actuar como si lo hubiera explicado correctamente, para

cuando acabara de preguntarle todo el tema ver cómo me respondía a conceptos más antiguos (acabo esta explicación al final de este subapartado).

Finalizando con las propiedades de los sistemas se le pregunta sobre invertibilidad la cual define bien, pero con una fórmula que no es la adecuada. El ChatGPT nos da la siguiente fórmula:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau, \quad (6)$$

la cual es básicamente integral de convolución. Por lo que a continuación se le especifica un poco más *“me lo podrías explicar con algo parecido a esto: Para que un sistema sea invertible debe existir su S-1 de modo que asociados en serie el resultado de la asociación sea la identidad”*. Tras esta interacción, se consigue que la IA proporcione la fórmula de invertibilidad que se buscaba.

Finalizando este tema se le pregunta sobre las asociaciones tanto en paralelo como en serie como en retroalimentación. Lo define correctamente dando una buena definición y las correspondientes fórmulas matemáticas del paralelo y serie, pero en la retroalimentación encuentra dificultades.

Hasta este momento, se ha utilizado consistentemente el mismo chat de ChatGPT para evitar la necesidad de reintroducir conceptos previos, lo cual facilita la comprensión de temas más avanzados. Considerando esto, se decide realizar una comprobación utilizando un chat completamente nuevo, formulando preguntas de manera más general sobre diversos conceptos. El objetivo fue determinar si los resultados obtenidos eran similares o si se observaba un deterioro en la calidad de las respuestas debido a la falta de contexto.

Los resultados obtenidos son bastantes aceptables, aunque en alguno como en el caso de la linealidad la respuesta resulta limitada. Sin embargo, se le he pregunta *“qué es un sistema LTI”*, sin proporcionar más contexto y explica perfectamente las propiedades de linealidad e invarianza en el Tiempo con sus respectivas fórmulas matemáticas.

Igual que en el primer tema, pero siendo este en el último en el que se va a realizar esta evaluación, se le pregunta a Gemini las propiedades del sistema, obteniendo una respuesta correcta. Además de esto se ha trabajado con la función que tiene Gemini para adjuntar imágenes, implementación que el ChatGPT no la tiene (la versión 4 sí que la tiene, pero cuando se realizó esta parte del proyecto era de pago, ya se explicará más adelante como está avanzando esta tecnológica y en qué punto está ahora mismo). Aunque esta funcionalidad no se considerará en profundidad para este proyecto, ya que está enfocado en la parte teórica, para los proyectos paralelos que se está haciendo tanto la parte de laboratorio como la de ejercicios, seguro que lo están teniendo en cuenta ya que es una herramienta muy útil que puede amenizar mucho la tarea de comprender ejercicios de esta asignatura. Aun con esta implementación tan potencialmente útil, se intentó obtener explicaciones de conceptos más complejos a partir de imágenes, como el resultado de la convolución de dos señales de pulsos cuadrados, y los resultados no fueron satisfactorios.

Revisando posteriormente las preguntas y respuestas del chat principal, se observa que en la primera definición que proporciona sobre la causalidad para sistemas LTI dice la siguiente frase: “Un sistema LTI es causal si, para cualquier par de funciones de entrada  $x_1(t)$  y  $x_2(t)$  que coincidan para  $t < t_0$ , las correspondientes”, la cual es una frase sin sentido. Con este ejemplo se puede ver como para trabajar con esta herramienta hay que tener mucha precaución. Y aunque la explicación sea correcta al principio, hay que revisar con rigor cada frase que dice y no fiarse sin un análisis crítico, ya que esta inteligencia no es una experta en este campo, si no que recoge información de muchos sitios y la reproduce sin ningún tipo de razonamiento aparente.

Otro resultado importante que ya se ha citado en este apartado ha sido el problema tenido con la propiedad de estabilidad. Al principio del todo se le pidió (junto a otras propiedades) una definición de la estabilidad, a lo que respondió perfectamente explicando la estabilidad BIBO. Más tarde se le concretó (además de ser la pregunta específicamente solo para esta propiedad) si podría definir la propiedad de estabilidad en un sistema LTI. A este *prompt* responde parcialmente bien ya que, igual que explicó antes, y es la respuesta correcta, nos explica la estabilidad BIBO, pero ahora además de esta estabilidad se inventa otra la cual la llama “Estabilidad en el Sentido de la Entrada”. Finalmente, y después de seguir consultando otros conceptos dando por sentado que esa división que había hecho de la estabilidad era correcta se le formuló el siguiente *prompt* “Me quedé con dudas con la definición de propiedad de estabilidad para un sistema LTI” y ahora volvió a darnos la respuesta correcta explicando la estabilidad BIBO. Además, en este caso como se le dijo que tenía dudas, él interpretó que tenía que hacer una mejor explicación por lo que añadió párrafos explicativos muy buenos además de las expresiones matemáticas tanto en TC como en TD. Con esto se concluye el tema poniendo como último mensaje relacionado con este tema “Buenos días. De momento, concluiremos con este tema y comenzaremos el siguiente, si estás de acuerdo”.

En este segundo tema, la versión 4 de ChatGPT proporciona resultados excepcionales. El principal problema de este tema, relacionado con la propiedad de causalidad de un sistema LTI, está totalmente corregido en esta versión desde el principio, sin necesidad de refinar ni corregirle la definición ni el tipo de causalidad que se inventaba. Aunque los resultados en este tema ya eran considerablemente buenos, esta nueva versión ofrece explicaciones más claras y requiere menos esfuerzo para ajustar los *prompts*, demostrando una mejor capacidad de interacción con el usuario.

### **5.3 Tema 3: Análisis de Fourier para señales y sistemas de tiempo continuo**

Este tema tiene un contenido bastante más complicado de explicar, lo que implica más tiempo y preguntas para entender bien dicho tema. Como en los temas anteriores, como primer paso se ha puesto en contexto al ChatGPT de este nuevo tema, aunque se sigue usando el mismo chat para que sepa todo el contexto general de la asignatura y pueda entender y explicar de manera relacionada. En este tema los conceptos tratados son:

- Autovalores y autofunciones.
- Desarrollo en series de Fourier de señales periódicas.
- Fenómeno de Gibbs.
- Transformada de Fourier para señales no periódicas.
- Respuesta en frecuencia de sistemas continuos.
- Teorema del muestreo.
- Diagrama de polos.
- Función de sistema.
- Respuesta en frecuencia de sistemas caracterizados por ecuaciones diferenciales lineales de coeficientes constantes.
- Filtros.

Para empezar el tema se le hace preguntas relativas sobre el Análisis de Fourier, a lo cual responde de una buena manera explicando bien lo que es, aunque comenta que solo se puede hacer la transformada de Fourier para señales periódicas, afirmación que no es cierta. Por lo que a continuación se le pregunta sobre las señales no periódicas, y ahora sí que explica correctamente lo que se sucede con las señales no periódicas. Se le sigue concretando más y su respuesta fue cada vez más sofisticada. También se le preguntó sobre la respuesta de sistemas continuos LTI a señales exponenciales complejas, a lo que responde de manera razonable, pero de una manera bastante breve y no logra explicarlo bien, se queda simplemente en:

$$y(t) = h(t) * x(t). \quad (7)$$

Se le pregunta sobre lo que es un autovalor y autofunción relacionándolo con  $H(j\omega)$  y  $e^{j\omega t}$ , a lo que contesta erróneamente, profundizando en el tema de la transformada de Laplace.

En este tema, se le va a pedir que exprese funciones en diferentes formas. Las expresiones que se han escogido son  $\sin(x)$  y  $\cos(x)$  debido a que son las más comunes y usadas. La primera expresión que se le pide es el de estas funciones como exponenciales complejas, a lo que me define perfectamente ambas señales.

También se le pregunta sobre la ecuación de síntesis (CTFS<sup>-1</sup>) y la ecuación de análisis (CTFS) y responde correctamente a ambas. La única aclaración que se le hace es si puede usar el subíndice  $k$  en vez de  $n$ . Esta aclaración tiene la finalidad de evitar posibles confusiones al comparar las fórmulas proporcionadas por la IA con las correspondientes en las presentaciones. No obstante, al pedirle el desarrollo en serie de Fourier (CTFS) para las expresiones seno y coseno, no logra proporcionar la transformación correspondiente correctamente.

Siguiendo este concepto, se le pregunta las condiciones de existencia de la CTFS, las cuales contesta parcialmente bien mencionando la periodicidad e integrabilidad.

Se le formula una consulta sobre el fenómeno de Gibbs el cual lo explica bien, pero hay que tener cuidado con algún pequeño detalle como que este fenómeno siempre ocurre en las discontinuidades.

En cuanto a la simetría de señales conjugadas sí que lo explica correctamente.

Igual que se hizo la pregunta para señales periódica se le pregunta sobre la transformada de Fourier de señales no periódicas (CTFT). Como respuesta a esta cuestión, proporciona una explicación detallada que no solo incluye la definición solicitada, sino que también aborda otros aspectos interesantes, como la ecuación de síntesis. Sin embargo, aunque ambas transformadas las explica correctamente la relación entre estas no. E igual que pasaba con las señales periódicas, las condiciones de existencia de la CTFT tampoco las explica bien.

A continuación, se le pregunta sobre las propiedades de la CTFT dándonos ocho de las cuales seis son correctas y dos no, siendo esta una proporción aceptable. Por último, se le pregunta la CTFT del seno y coseno, dándonos la del coseno correctamente, pero la del seno no, faltándole a esta última un signo negativo.

Se le pregunta también sobre un concepto básico como es el de la respuesta en frecuencia  $H(j\omega)$  dando una explicación bastante mediocre sin llegar a desarrollar bien este concepto, sin mencionar ni  $X(j\omega)$  ni  $Y(j\omega)$  si nosotros no lo mencionamos antes. Una vez se lo nombramos nosotros, sí que lo explica bien igual que si le preguntamos sobre su módulo y fase.

En cuanto al teorema de Nyquist, explica bien el concepto general, el cual establece que, para poder recuperar una señal analógica continua sin pérdidas de información a partir de sus muestras discretas, la frecuencia de muestreo ha de ser mayor o igual al doble de la frecuencia máxima presente en la señal:

$$f_s \geq 2 f_{max}, \quad (8)$$

donde:

- $f_s$ : es la frecuencia de muestreo,
- $f_{max}$ : es la frecuencia máxima en la señal continua.

Aunque esta explicación está bien le falta un apunte (que se les suele olvidar a los alumnos y es igual de importante) y este es que la señal tiene que estar limitada en banda.

Siguiendo con este tópico le pregunto sobre técnicas para evitar el submuestreo o “aliasing”, lo cual, aunque añade un par de formas sin sentido también explica las opciones idóneas (ajustar la frecuencia de muestreo o usar un filtro antialiasing). Como en esta pregunta responde con un concepto que puede ser desconocido para el alumno, se le pregunta sobre los filtros antialiasing, los cuales explica bien lo único que da bastante vueltas a lo mismo, cosa que puede confundir al alumno.

Los procesos tanto de conversión analógico digital como digital-analógico los explica de una forma muy incorrecta ambos.

Sobre el concepto del diagrama de polos y ceros el cual explica bien pero tampoco de una forma muy clara. Relacionado con esto se le pregunta sobre la región de convergencia (ROC) y sus propiedades las cuales hay algunas bien, pero acompañadas de algunas incorrectas y otras completamente inventadas.

También se le pregunta sobre la respuesta en frecuencia de sistemas caracterizados por ecuación diferencial lineal con coeficientes constantes (EDLCC), donde nos lo explica y da una fórmula incorrecta y aunque se intenta llegar a una buena conclusión con más *prompts*, pero resulta imposible.

Por último, se le pregunta sobre el filtrado, la cual la parte teórica sí que la hace bastante bien, pero hay fórmulas que están parcialmente incorrecta. En la primera respuesta ya nos explica que es el filtrado, la función de transferencia  $H(s)$ , respuesta en frecuencia  $H(j\omega)$  y respuestas en amplitud  $|H(j\omega)|$ . En cuanto a las fórmulas desde las fórmulas de función de transferencia de un filtro de primer orden ya se aprecian errores, los cuales van en aumento acorde con el aumento de orden.

Una vez se acabó de hacer una iteración inicial de *prompts* abarcando todo el temario se tenía planeado reformular las preguntas que inicialmente se explicaba mal, para así encontrar el *prompt* más adecuado para cada concepto. Sin embargo, cuando se comenzó a implementar este plan, la versión 4 del ChatGPT que hasta el momento había sido la de pago, se puso a disposición pública de manera gratuita. En el momento que se está realizando este trabajo se tienen un número de preguntas gratis a esta nueva versión las cuales se recargan con el tiempo, y cuando se llega a este límite la web te indica cuando podrás volver a preguntar en esta versión, como se puede ver en la Figura 6.

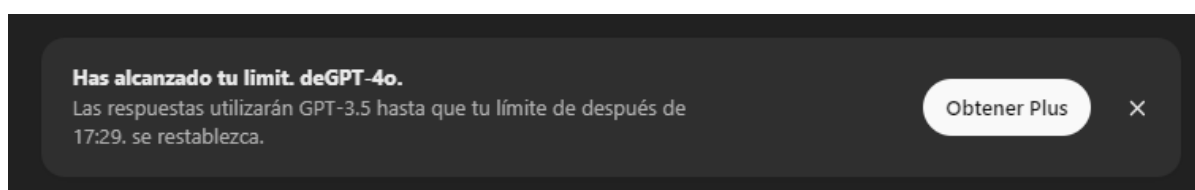


Figura 6. Mensaje de límite alcanzado con GPT-4

Ante este avance, se adaptó el enfoque y se creó un nuevo chat. Se había experimentado previamente esta nueva versión en trabajos anteriores, obteniendo resultados mucho más completos, correctos y rápidos, por lo que se decidió simplemente iniciar el chat con una pequeña introducción “*Buenas soy alumno de la ETSIST y tengo dudas en la asignatura de señales y sistemas, me podrías ayudar?*” y se le empezó a hacer preguntas sobre los conceptos en los cuales se había tenido dificultades. Primero se le pregunta sobre el teorema de muestreo para ver si esta versión sí cita la limitación en banda. A pesar de que no se abordó este aspecto específico, la explicación proporcionada superó a la ofrecida por ChatGPT 3.5, que ya era adecuada. Al no mencionarse el detalle clave de la limitación, se le planteó

explícitamente la pregunta sobre si la señal debe estar limitada en banda, a lo que responde afirmativamente.

Un hecho que también resultó sorprendente en esta nueva versión es que, igual que hacía Gemini, proporciona referencias adicionales que permiten explorar más de forma autodidacta, como se puede apreciar en la Figura 7.

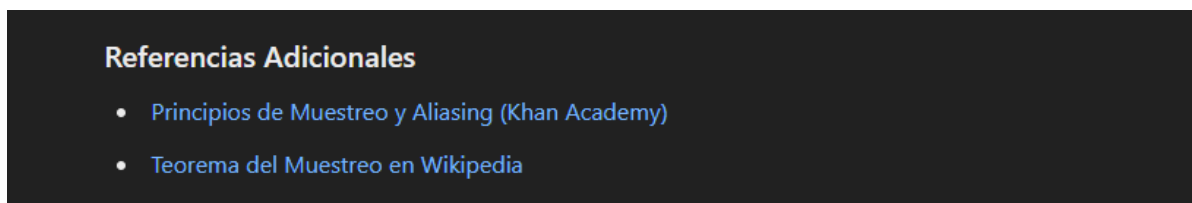


Figura 7. Captura de pantalla de referencias adicionales abonadas por la IA

El siguiente concepto errático que se trata es el correspondientes a las condiciones de existencias de la CTFS. Ahora además explicar la periodicidad e integrabilidad (que nos lo decía ChatGPT 3.5 también) también habla sobre las oscilaciones y las discontinuidades que son condiciones muy importantes además de hacer una explicación mucho mejor. Seguido de esto y obviamente relacionado le pregunto sobre la CTFS de seno y coseno y esta vez sí que lo explica a la perfección, además de explicar cada variable  $a_n$ ,  $b_n$ .

Se quería comprobar si esta versión también tenía buena memoria por lo que se le pregunta si se acordaba de la pregunta de la condición de existencia de CTFS, lo que responde afirmativamente, aunque lo vuelve a explicar hecho que no era el que buscaba. Uno de los conceptos más complicados e interesantes del tema, es el de relacionar la CTFT con los coeficientes de la CTFS. Este lo explica perfectamente, como a partir de una señal  $x(t)$  y su CTFT la relaciona con el Desarrollo en Serie de Fourier de una extensión periódica de  $x(t)$ . Además, al final pone ejemplos, conclusión y relación.

Se le pregunta también las propiedades de la CTFT las cuales dice correctamente además de hacer una tabla con una pequeña explicación lo que hace que el usuario pueda tener una idea general de una forma más rápida y sencilla. Se le volvió a preguntar sobre el muestreo ideal y además de hacer una explicación muy completa ahora sí que por fin comenta que la señal tiene que estar limitada en banda.

Un concepto también muy importante el cual la versión 3.5 explica de una forma muy mala es la conversión analógico-digital y viceversa. Esta nueva versión lo explica perfectamente con todos sus pasos, y explicando cada uno junto a su fórmula correspondiente y ejemplo. Asimismo, al final se incluye un resumen, se muestra un diagrama de flujo (véase la Figura 8), un ejemplo ilustrativo y un ejemplo numérico completo.



Figura 8. Diagrama de flujo A/D hecho por la IA

El proceso inverso no lo explica tan bien ya que le falta explicar conceptos como el de la igualación de  $x[n]$  con  $x(nT)$ , pero aun así es notablemente mejor que el ChatGPT 3.5. Por lo que se intenta refinar el *prompt* "Como se obtiene una señal analógica  $x(t)$  a partir de sus muestras  $x[n]$  obtenidas con una frecuencia de muestreo  $f_s$ ?", para ver si así se consigue un mejor resultado, dándonos ahora una explicación mejor.

Otro concepto que el ChatGPT3.5 trataba de una manera incorrecta era el de la respuesta en frecuencia de sistemas caracterizados por una EDLCC. Sin embargo, la versión ChatGPT4 lo explica correctamente definiendo estos sistemas como los que se pueden representar como:

$$\sum_k^N a_k \frac{d^k y(t)}{dt^k} = \sum_k^M b_k \frac{d^k x(t)}{dt^k}. \quad (9)$$

Además de explicar cada paso, su relación con la función de transferencia, el cálculo de magnitud y fase correspondiente.

Como última parte de este tema están los filtros tanto de paso bajo como paso alto y banda. Poniendo el mismo *prompt* que en el ChatGPT3.5, se obtienen resultados mejores, explicando de una forma clara lo que es un filtro paso bajo de primer orden junto a su respuesta en frecuencia, su respuesta en frecuencia, amplitud y fase. Asimismo, muestra una tabla con el resumen de fórmulas, como se puede apreciar en la Figura 9. Sin embargo, esta vez no se carga correctamente, lo que indica que la herramienta todavía está en desarrollo.

Resumen de las Fórmulas	
Concepto	Fórmula
Función de Transferencia	$H(s) = \frac{\omega_c}{s + \omega_c}$
Respuesta en Frecuencia	$H(j\omega) = \frac{\omega_c}{j\omega + \omega_c}$
Respuesta en Amplitud	(
Respuesta en Fase	$\angle H(j\omega) = \tan^{-1} \left( -\frac{\omega}{\omega_c} \right)$

Figura 9. Resumen de las fórmulas de un filtro paso bajo de 1º orden

Además de esto y como hace casi siempre al final nos muestra un ejemplo numérico lo cual siempre ayuda a entender el concepto.

Para finalizar este tema se le pregunta sobre todas las fórmulas y la respuesta es correcta. Sin embargo, forma en la que lo expresa difiere de la forma en que se muestra en la presentación. Esta diferenciación puede dificultar la comprensión del alumno en lugar de mejorarla, que es el objetivo principal de esta herramienta.

#### 5.4 Tema 4: Análisis de Fourier para señales y sistemas en tiempo discreto

Este es el último tema el cual trata sobre el análisis de Fourier para señales y sistemas de tiempo discreto y se tratan los siguientes conceptos:

- Autovalor y autofunción.
- Serie discreta de Fourier.
- Transformada de Fourier para secuencias no periódicas y periódicas.
- Respuesta en frecuencia de sistemas discretos.
- Transformada Z.
- Diagrama de polo y ceros en tiempo discreto.
- Función de sistema en tiempo discreto.
- Sistemas de tiempo discreto descrito por ecuaciones en diferencias lineales de coeficientes constantes.
- Filtros FIR e IIR.

Como su nombre sugiere, puede parecer que va a ser sencilla, dado a su similitud con el tema 3, pero en tiempo discreto esta vez en vez de continuo. No obstante, este cambio de dominio conlleva cambios en las transformadas y sus propiedades las cuales pueden complicar el entendimiento de éste. Igual que para el profesorado, explicar este tema requiere una comprensión profunda de muchos conceptos y términos abstractos, lo que hace que la explicación de este sea más extensa y compleja.

Para comenzar, se le solicita una explicación sobre la relación que existe entre autovalor y autofunción y ya no lo hace de forma correcta. Seguidamente se le pregunta sobre la respuesta de sistemas LTI a señales exponenciales complejas y nos vuelve a dar respuestas

inconexas. Analizando las primeras interacciones y viendo que estas no fueron satisfactorias, se concluye que este tema requerirá un mayor esfuerzo para conseguir una buena interacción entre la IA y el alumno.

Aun así se intentó conseguir los mejores resultados posibles en conceptos como la ecuación de síntesis y análisis para secuencias periódicas o no periódicas (lo hace bien), la respuesta en frecuencia  $H(\Omega)$ , diagrama de polos y ceros, la región de convergencia (ROC)... en la mayoría de estos la explicación tenía fallos desde pequeños fallos como generalizar para todo el tiempo discreto en vez de solo para la TZ, fallos en signos, hasta fallos completos de entendimiento como afirmaciones erróneas sobre ausencia o presencia de polos y ceros en situaciones críticas como lo son el origen y el infinito, o con la ROC se centra mucho en el círculo unitario cuando muchas veces se tendría que haber referido a los polos y más errores conceptuales.

Todos estos fallos se dieron en la versión del ChatGPT 3.5. Igual que se hizo con el tema 3 se le volvió a preguntar en un nuevo chat dando la misma pequeña introducción "*Buenas soy alumno de la ETSIST y tengo dudas en la asignatura de señales y sistemas, me podrías ayudar?*". Los resultados obtenidos con esta nueva versión siguen la misma trayectoria que los obtenidos en el tema 3, con explicaciones casi siempre correctas, explicaciones mucho más completas, usando el mismo *prompt* y dando menos contexto.

Estas diferencias se pueden ver claramente en los siguientes conceptos. El primer ejemplo claro es con el primer punto del tema, "4.1 Introducción: autovalores y autofunciones", donde en este nuevo chat explica perfectamente la relación que existe entre un autovalor y una autofunción e un sistema LTI. En este ejemplo como en el *prompt* no se especifica que era para sistemas de tiempo discreto también lo explica para sistemas de tiempo continuo lo cual no era el objetivo inicial, pero puede servir como una ayuda para llegar a tener una mejor visión general en la asignatura y, lejos de complicar el aprendizaje del alumno, lo enriquece.

Es realmente notable como, con una pequeña introducción y el mismo *prompt* empleado en la versión 3.5: "*Me puedes decir la relación que existe entre un autovalor y una autofunción de un sistema LTI*" se consigue un resultado tan dispar, no solo correcto, sino que además lo explica dividiéndolo en varias secciones como Contexto de sistemas LTI, Autofunciones en sistemas LTI, Autovalores en Sistemas LTI, Interpretación y Ejemplo y Resumen.

También se le pregunta sobre la ecuación de síntesis de la DTFS y no proporciona solo la definición junto a su fórmula correctamente (no como el 3.5), si no que explica cada componente, en especial explica cómo sacar el coeficiente  $a_k$ . Como se puede observar en la Figura 10, para esta pregunta la propia IA crea 2 respuestas, siendo ambas correctas explicando lo mismo, pero aportando cada una distintos ejemplos.

¿Cuál es tu respuesta preferida?  
Tu aportación contribuirá a que ChatGPT sea mejor.

**Respuesta 1**

Por supuesto. La **Serie de Fourier Discreta en Tiempo (DTFS)** es una herramienta crucial en el análisis de señales periódicas en el dominio discreto. Esta serie representa una señal periódica en términos de sus componentes de frecuencia discretas.

**Definición de la DTFS**

Para una señal periódica discreta  $x[n]$  con período  $N$ , la Serie de Fourier Discreta en Tiempo (DTFS) se expresa en dos partes: análisis y síntesis.

**Ecuación de Síntesis de la DTFS**

La ecuación de síntesis de la DTFS reconstruye la señal  $x[n]$  a partir de sus coeficientes  $A_k$ . Está dada por:

$$x[n] = \sum_{k=0}^{N-1} A_k e^{j\frac{2\pi}{N}kn}$$

Aquí:

- $x[n]$  es la señal original en el dominio del tiempo.
- $A_k$  son los coeficientes de la DTFS que representan las amplitudes y fases de las componentes armónicas.
- $N$  es el período de la señal  $x[n]$ .
- $k$  es el índice de frecuencia discreta.

**Componentes de la Ecuación**

1. **Coefficientes de la DTFS  $A_k$ :**

Estos coeficientes se obtienen mediante la ecuación de análisis de la DTFS:

**Respuesta 2**

Claro, la ecuación de síntesis de la Serie de Fourier Discreta en Tiempo (DTFS) es una forma de representar una señal periódica discreta como una suma de senoidales complejas ponderadas por coeficientes. Estos coeficientes  $A_k$  encapsulan la información de amplitud y fase para cada componente de frecuencia discreta.

**Ecuación de Síntesis de la DTFS**

La ecuación de síntesis de la DTFS permite reconstruir una señal periódica discreta  $x[n]$  a partir de sus coeficientes  $A_k$ . Para una señal periódica  $x[n]$  con período  $N$ , la ecuación de síntesis es:

$$x[n] = \sum_{k=0}^{N-1} A_k e^{j\frac{2\pi}{N}kn}$$

donde:

- $x[n]$  es la señal periódica en el dominio del tiempo.
- $A_k$  son los coeficientes de la DTFS.
- $N$  es el período de la señal.
- $n$  es el índice de tiempo discreto.
- $k$  es el índice de frecuencia discreta.

**Descomposición de la Ecuación**

Para entender mejor la ecuación, descomponemos cada uno de sus componentes:

1. **Coefficientes  $A_k$ :** Representan la amplitud y la fase de las componentes sinusoidales de la señal. Se calculan mediante la ecuación de análisis de la DTFS:

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Figura 10. Muestra de dos opciones a la misma pregunta

La primera opción explica más teóricamente (que se considera más adecuada en este caso) y la segunda además de hacer una explicación también correcta, se centra en un ejemplo ilustrativo que también es bastante útil.

A continuación, se le pregunta sobre el módulo y la fase de la respuesta en frecuencia  $H(\Omega)$  ya que el 3.5 lo explicaba bien, pero lo generalizaba, cosa que el 4 no. Lo único que faltó en esta respuesta fue una pequeña explicación de como calcular el módulo y la fase de la respuesta en frecuencia conocidas las transformadas de Fourier de la salida  $Y(j\omega)$  y de la entrada  $X(j\omega)$ .

En cuanto a la transformada de Fourier para señales no periódicas se puede ver una clara diferencia entre ambas versiones del ChatGPT. En la primera versión hacía falta refinar bastante el *prompt* para conseguir explicaciones correctas de términos básicos como el cálculo sobre los coeficientes o las propias ecuaciones de síntesis y análisis. Sin embargo, con la nueva versión con un simple *prompt* como el siguiente: “Me puedes explicar como se calcula la

transformada de Fourier en tiempo discreto (DTFT) para secuencias no periódicas” se obtiene una explicación correcta y muy completa, explicando desde su definición, hasta el proceso para el cálculo correspondiente. En el caso de la transformada de Fourier para señales periódicas no se consigue la respuesta buscada hasta que se le adjunta una imagen con la formula correcta, como la Figura 11.

- Si tenemos una secuencia  $x[n]$  periódica de periodo  $N$ , se puede obtener su DTFS:

$$x[n] = \sum_{k=\langle N \rangle} a_k e^{jk \frac{2\pi}{N} n}$$

- Aplicando la propiedad de linealidad de la DTFS se tiene:

$$X(\Omega) = \sum_{k=\langle N \rangle} a_k 2\pi \sum_{l=-\infty}^{\infty} \delta\left(\Omega - \frac{2\pi k}{N} - 2\pi l\right) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{k=\langle N \rangle} 2\pi a_k \delta\left(\Omega - 2\pi\left(\frac{k}{N} + l\right)\right) \Rightarrow$$

$$X(\Omega) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} 2\pi a_l \delta\left(\Omega - \frac{2\pi l}{N}\right)$$

Figura 11. Captura de pantalla copiada en el ChatGPT a modo de ayuda

Cambiando un poco a peor el *prompt* comparándolo con el usado en el 3.5, es decir dando menos contexto, se le pregunta sobre la TZ preguntado “Qué es la transformada Z” proporcionando una definición precisa, además de ofrecer una explicación exhaustiva que aborda anticipadamente preguntas sobre sus propiedades y la ROC, explicándolas correctamente ambas. Además de explicar estos conceptos esenciales sin necesidad de proporcionar dicho *input* también explica correctamente otros conceptos como la TZ inversa y la aplicación de la TZ.

Pasando al siguiente concepto se le pregunta sobre la función de sistema, en concreto el diagrama de polos y ceros y aunque este concepto lo explique bien el 3.5, esta versión hace una explicación mucho más completa donde además de la definición de estos, explica la función de transferencia, la interpretación del diagrama, la importancia de polos y ceros en propiedades como la estabilidad y mostrando un ejemplo numérico. Entrando un poco más en el tema, pero siguiendo sin darle más contexto que las preguntas directas, se le pregunta sobre la relación que tiene la causalidad y no causalidad de un sistema con su ROC, explicándolo perfecto esta vez con los polos correspondiente a cada sistema estando la ROC de un sistema causal definido por el polo de mayor módulo, anticausal definido por el de menor módulo y no causal definido por ambos polos creando así una corona.

A continuación, se le pregunta si puede explicar de forma sencilla las propiedades de la TZ (linealidad, desplazamiento y convolución), este *prompt* como todos los anteriores son iguales para el 3.5 y para el 4, pero este sorprendió más de lo habitual ya que en ocasiones con el

ChatGPT3.5 cuando se pedía “de una forma sencilla” era para comprobar si, de esta forma, la explicación resulta más clara. En la versión 4, lo que hace si añades dicha aclaración en el *prompt*, es explicar todo siguiendo el mismo método que usa siempre pero ahora además de toda la explicación que hace en distintos puntos, añade uno nuevo el cual es “Explicación Simple” como se puede observar en la Figura 12.

### Explicación Simple

Si sumas dos señales y luego les aplicas la Transformada Z, obtienes lo mismo que si le aplicas la Transformada Z a cada señal por separado y luego sumas los resultados. Los multiplicadores (o constantes) simplemente acompañan a cada transformada.

Figura 12. Apartado "Explicación Simple"

Volviendo al análisis de la respuesta del ChatGPT sobre las propiedades de la TZ, la versión 3.5 la hacía relativamente bien, pero tenía partes incorrectas, en cambio la versión 4 no solo lo explica bien si no que lo divide en definición, fórmula, explicación simple y ejemplo. Una explicación sencilla acompañada de un ejemplo resulta mucho más didáctica para el alumno, ya que no se enfrenta a un bloque de texto extenso, sino que encuentra la información organizada en pequeñas secciones. Esto le permite leer y comprender de manera más amena y sencilla.

Recapitando sobre este fenómeno, se llega a la conclusión que esto tiene una importancia más considerable de la aparente ya que los alumnos, y cada vez más con el tiempo, están cada vez más acostumbrados a la dopamina [24], debido al increíble aumento de estímulos recibidos en la actualidad, de los cuales gran parte vienen dados por la extrema conexión con las redes sociales. Esta continua liberación de dopamina hace que los alumnos busquen una continua gratificación instantánea, por lo que proporcionando pequeñas dosis de aprendizaje, que les permitan observar su progreso de manera progresiva, da como resultado una estrategia de aprendizaje más eficaz y atractiva, que presentar un texto de 500 palabras, el cual les puede parecer aburrido y más costoso de entender.

Siguiendo con el temario problemático en la versión 3.5, se consulta sobre cómo cada propiedad afecta a la región de convergencia. Como se esperaba, la respuesta es adecuada y detallada. Aunque la respuesta puede parecer totalmente correcta hay que matizar que tanto en la linealidad como en la convolución la ROC no es la intersección, si no que esta incluye dicha intersección. Un aspecto destacable es que, en muchas de sus explicaciones, se incluye una tabla de resumen visual al final, lo cual facilita la comprensión de las respuestas. Cada propiedad la explica en una sección diferente y explica su efecto en la ROC de manera detallada ofreciendo una comprensión sencilla. Además del efecto en la ROC, la IA nos pone una fórmula correspondiente, una explicación simple y un ejemplo para cada propiedad. Todo esto crea una explicación completa y fácil de seguir para el alumno. Finalmente, se ofrece un resumen

visual, véase la Figura 13, que sintetiza la información y se incluyen detalles adicionales que pueden ser útiles para resolver preguntas frecuentes.

Resumen Visual		
Propiedad	Efecto en la ROC	Visualización
Linealidad	ROC de la combinación es la <b>intersección</b> de las ROCs	
Desplazamiento	ROC permanece igual (considera la inclusión del origen)	
Convolución	ROC es la <b>intersección</b> de las ROCs de las señales	

Figura 13. Resumen visual de las propiedades de la transformada Z

La última parte del tema del tema 4 (a partir de la función de sistema hasta la introducción al filtrado) con el Chatgpt-3.5 tenía un número considerable de errores por lo que las explicaciones que vienen a continuación son todas con la nueva versión, la cual como ya se ha observado es mucho más eficaz.

A continuación, se le pregunta sobre cómo se puede obtener una señal  $x[n]$  a partir de su  $X(z)$  y su ROC, explica tres métodos distintos, de los cuales dos se citan en el temario, el método de la transformada inversa por fracciones parciales y el método de la inversión directa.

La función de sistema la explica perfectamente para el dominio discreto como lo hizo para el continuo. Otro punto a favor es que si no se especifica que función de sistema quieres si en TD  $H(z)$  o en TC  $H(s)$ , el ChatGPT-4 te explica ambas diferenciando cada una de manera correcta.

Le preguntamos también sobre la interconexión de sistemas LTI de tiempo discreto y nos explica los seis diferentes. Lo único que hay que especificarle que lo exprese con  $y[n]$  y  $x[n]$  porque si no lo hace todo con funciones de transferencia  $H(z)$  y TZ, aunque es análogo. Le pregunte cada opción 1 a 1 y para ver su capacidad de memoria y resumen, se le pregunta “*me podrías juntar las 3 opciones en resumen y exprésalo ahora con  $y[n]$   $x[n]$  y  $h[n]$ ”* a lo que respondió con la tabla que se muestra en la Figura 14. Esta tabla es correcta en casi todos los casos menos en la interconexión realimentada en el dominio del tiempo.

Comparación de Interconexiones		
Interconexión	Relación Matemática	Función de Transferencia
Serie	$y[n] = x[n] * h_1[n] * h_2[n]$	$H(z) = H_1(z) \cdot H_2(z)$
Paralelo	$y[n] = x[n] * h_1[n] + x[n] * h_2[n]$	$H(z) = H_1(z) + H_2(z)$
Realimentación	$y[n] = x[n] * \frac{h[n]}{1+h[n]*g[n]}$	$H(z) = \frac{H(z)}{1+H(z)G(z)}$

Figura 14. Resumen sobre interconexión de sistemas LTI de tiempo discreto

Un concepto que también daba bastantes problemas era la transformada de Fourier para secuencias periódicas ya que la IA, tanto la versión 3.5 como la 4, te va a explicar la DTFS en vez de la TF.

Con respecto a preguntas relativas al concepto sobre la respuesta en frecuencia de sistemas caracterizados por edlcc se obtuvo una respuesta muy buena, con su respectiva fórmula y explicando de donde viene cada componente:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=0}^M b_k z^{n-k}}{\sum_{k=0}^N a_k z^{n-k}} \quad (10)$$

Para acabar con este tema y la asignatura se le pregunta sobre los filtros FIR (respuesta finita al impulso) e IIR (respuesta infinita al impulso), de los cuales los explica bien ambos, con sus respectivas fórmulas también. Lo único que no está completamente bien ya que falta alguna característica importante como la de ubicación de los polos. Si se le pregunta sobre esta responde correctamente, excepto que no incluye el caso en el que el filtro FIR sea no causal lo que hace que pueda haber polos en el infinito. Para esta última aclaración probé a decírselo en el chat que estaba usando para el tema 3, para ver como actuaba este sin dar ningún tipo de contexto anterior para los filtros y preguntar directamente un caso concreto y lo explica de forma correcta.

## 5.5 Encuesta

Además de toda la interacción que se está haciendo con la IA, también se le quiso dar importancia y tener constancia del actual uso y percepción de los alumnos respecto a la IA [25].

Por lo que el día 25 de marzo de 2024, junto a la realización del entregable del tema 2, se realizó una encuesta con la finalidad de ver si los alumnos primero usaban ChatGPT, y segundo y más importante, ver si eran capaces de usar bien esta herramienta, distinguiendo cuando la IA se equivocaba y cuando decía lo correcto.

Estos resultados se consiguieron mediante una serie de preguntas valoradas de 1 a 5, siendo 1 nada de acuerdo y 5 completamente de acuerdo.

Las dos primeras preguntas eran más a nivel general del uso de la IA. En la primera como era de esperar se obtuvo un porcentaje muy elevado (94%), mientras que en la segunda no se obtuvo un porcentaje tan elevado (64%). Este bajón es posible que se haya dado debido a la inseguridad que crea la universidad a los alumnos frente al uso de IA más que porque realmente no la usen.

Las preguntas que se les hicieron a los alumnos son las siguientes:

1. Ya había usado ChatGPT para hacer ejercicios o consultar dudas en alguna asignatura  
 Sí  No
2. He consultado ChatGPT para resolver este ejercicio  
 Sí  No

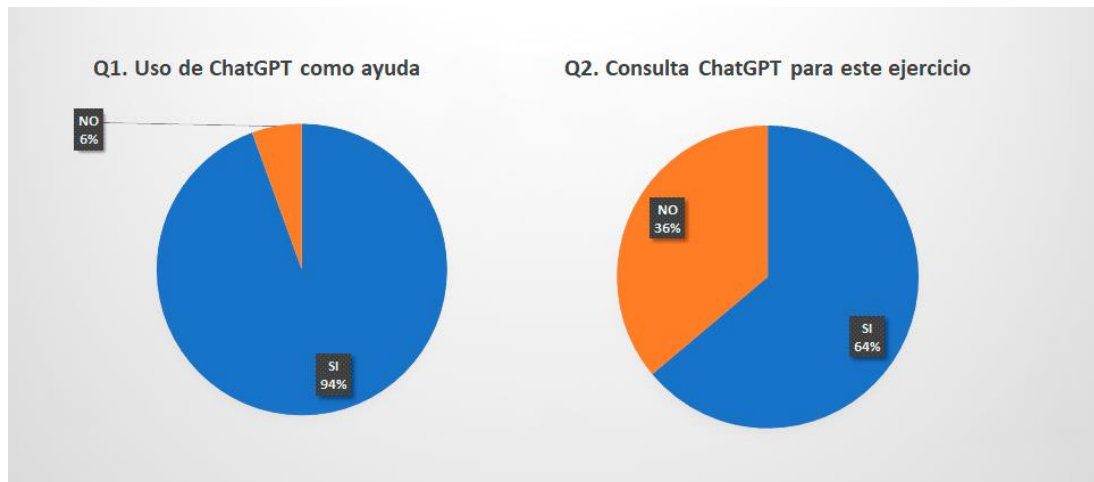


Figura 15. Resultado obtenido en las dos primeras preguntas

3. La solución aportada por ChatGPT para razonar las propiedades del sistema me ha ayudado mucho (elija el valor más adecuado donde 1= nada de acuerdo, 5= completamente de acuerdo)
4. La solución aportada por ChatGPT para razonar las propiedades del sistema era correcta (elija el valor más adecuado donde 1= nada de acuerdo, 5= completamente de acuerdo)

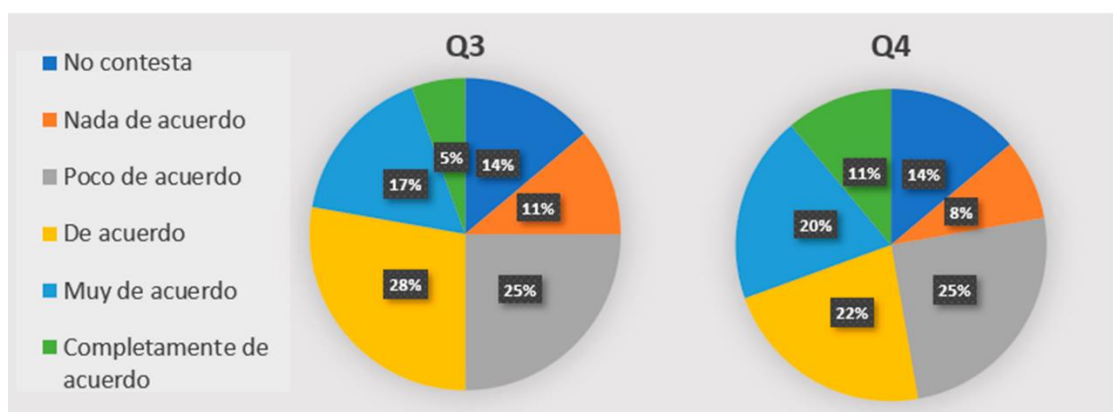


Figura 16. Resultado obtenido para las preguntas sobre las propiedades del sistema

5. La solución aportada por ChatGPT para la asociación en paralelo me ha ayudado mucho (elija el valor más adecuado donde 1= nada de acuerdo, 5= completamente de acuerdo).
6. La solución aportada por ChatGPT para la asociación en paralelo era correcta (elija el valor más adecuado donde 1= nada de acuerdo, 5= completamente de acuerdo).

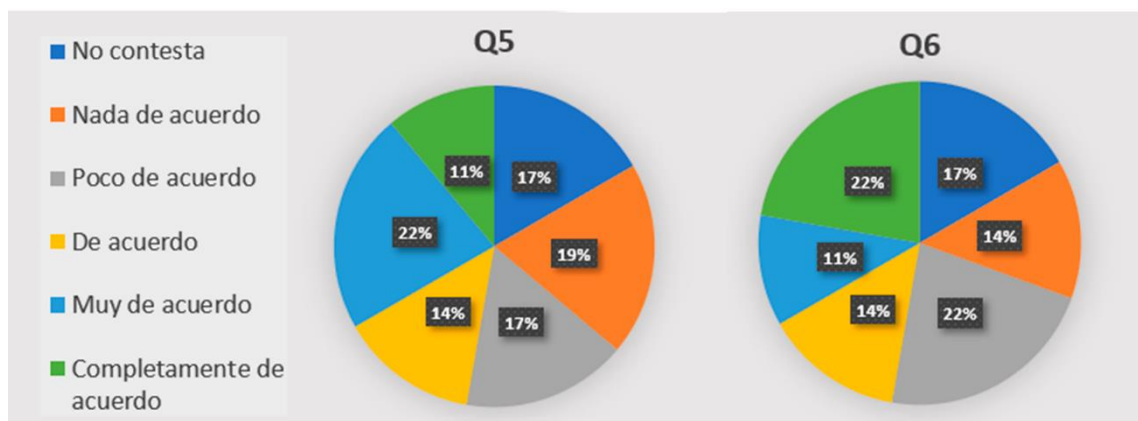


Figura 17. Resultado obtenido sobre la asociación en paralelo

7. La solución aportada por ChatGPT para la asociación en serie me ha ayudado mucho (elija el valor más adecuado donde 1= nada de acuerdo, 5= completamente de acuerdo)
8. La solución aportada por ChatGPT para la asociación en serie era correcta (elija el valor más adecuado donde 1= nada de acuerdo, 5= completamente de acuerdo)

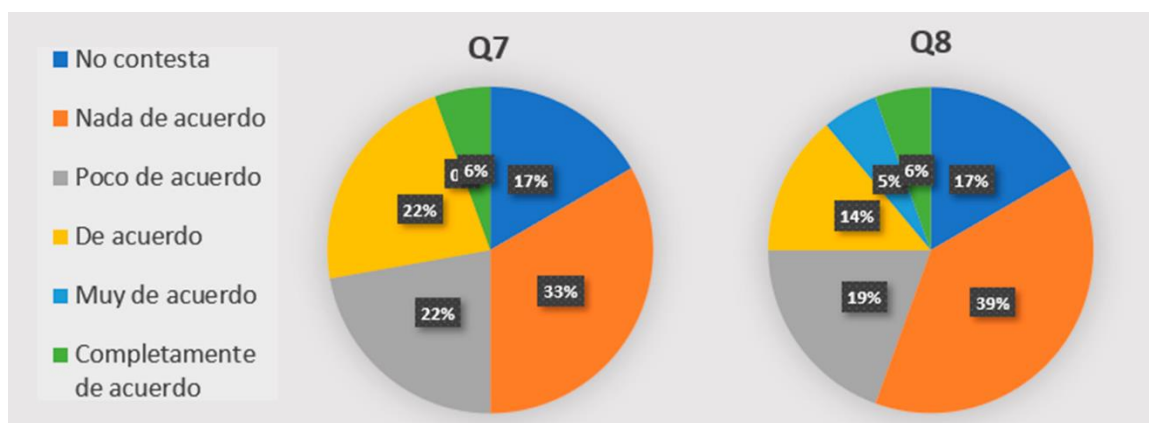


Figura 18. Resultados obtenidos para la asociación en serie

9. He modificado las preguntas y las he repetido hasta conseguir que ChatGPT me diera una respuesta acorde con lo que yo esperaba (elija el valor más adecuado donde 1= nada de acuerdo, 5= completamente de acuerdo).
10. Seguiré usando ChatGPT para consultar dudas o ejercicios en esta u otras asignaturas (elija el valor más adecuado donde 1= nada de acuerdo, 5= completamente de acuerdo)

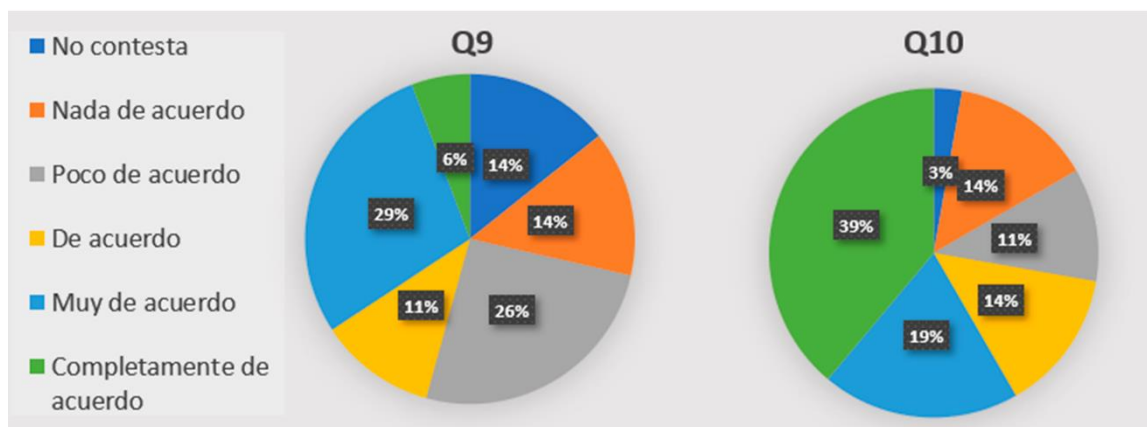


Figura 19. Resultados obtenidos sobre el uso del ChatGPT

Con las primeras preguntas, se buscaba determinar el porcentaje de estudiantes que ya utilizaban ChatGPT como herramienta de apoyo y cuántos lo emplearon para realizar el entregable, dando como resultado en ambos casos un porcentaje muy alto, siendo el primero casi del 100%, como se puede observar en la Figura 15.

Como se ha mencionado anteriormente, ChatGPT responde de manera razonablemente adecuada en lo que respecta a las propiedades de los sistemas, y como se muestra en la Figura 16 más de la mitad de los estudiantes han podido identificar esto correctamente.

La Figura 17, al igual que la siguiente, proporcionan una visión más realista sobre el uso de ChatGPT por parte de los estudiantes para resolver ejercicios y comprender los conceptos. Primero, se planteó una pregunta sobre una asociación en paralelo, que se había comprobado previamente que ChatGPT resolvía correctamente. Al analizar los resultados, se observa que los estudiantes tienden a estar más de acuerdo que en desacuerdo con las respuestas generadas por ChatGPT, lo que indica una retroalimentación positiva.

En las últimas preguntas sobre ejercicios, se incluyó una sobre una asociación en serie, cuya resolución por parte de ChatGPT era incorrecta. Estas dos preguntas tenían como objetivo observar la reacción de los estudiantes ante una solución incorrecta y determinar si confían más en sus propios conocimientos o en los proporcionados por la inteligencia artificial. De manera gratificante, la mayoría de los estudiantes identificaron el error, lo que refleja en la Figura 18 un alto porcentaje de respuestas en "Nada de acuerdo".

Con la dos últimas preguntas, se pretendía evaluar la efectividad del uso de ChatGPT por parte de los estudiantes. Los resultados de la pregunta 9, véase la Figura 19, que se centra en la optimización, muestran un nivel aceptable de satisfacción, aunque con margen de mejora, ya que casi la mitad de los participantes no están de acuerdo con su uso teniendo que cambiar las preguntas para que el ChatGPT les diera la solución que buscaban.

En la última pregunta, que preguntaba sobre el uso futuro de la IA para resolver problemas o aclarar dudas, se obtuvo el mayor porcentaje de respuestas en "Completamente de acuerdo".

## 5.6 Página web

Una vez analizado todos los resultados obtenidos sobre los diferentes conceptos tratados en la asignatura se crea la guía técnica. Dicha guía se ha integrado en un espacio web específicamente desarrollado para tal fin. La finalidad de esta plataforma es que esté disponible en el Moodle de la asignatura de Señales y Sistemas, de manera que sea fácilmente accesible para todo el alumnado.

Como se ha detallado en secciones anteriores, el desarrollo de la página web se realizó utilizando tres lenguajes de programación: HTML, JavaScript y CSS. La implementación de estos códigos se llevó a cabo mediante el uso del editor de código fuente Visual Studio Code [33]. Esta herramienta fue seleccionada por varias razones. En primer lugar, la familiaridad previa con Visual Studio, un entorno de desarrollo ya empleado en asignaturas anteriores del grado, como en Síntesis y Animación de Imágenes. En segundo lugar, la elección de Visual Studio Code se basó en su reconocida reputación y en su capacidad de integración con diversos lenguajes de programación. Estas razones hicieron que la elección para la creación de la guía técnica se desarrollara de esta manera. La página web está compuesta por tres partes principales: el panel principal, información sobre la web y la guía técnica.

### 5.6.1 Panel principal

La Figura 20 muestra el panel principal el cual es el que aparece en cuanto se entra a la página. Dentro de éste, se tiene la capacidad de ir navegando entre los distintos temas. Una vez tienes seleccionado el tema y pulsas “Mostrar Tema” se abrirá un nuevo panel, el cual tendrá el índice del tema correspondiente y en cada punto tendrá los *prompts* correspondientes para que la IA explique el apartado deseado. Dentro del panel principal, se tiene arriba dos botones los cuales llevan a los otros dos paneles claves: información sobre la web y recomendaciones de uso de la IA (guía técnica).

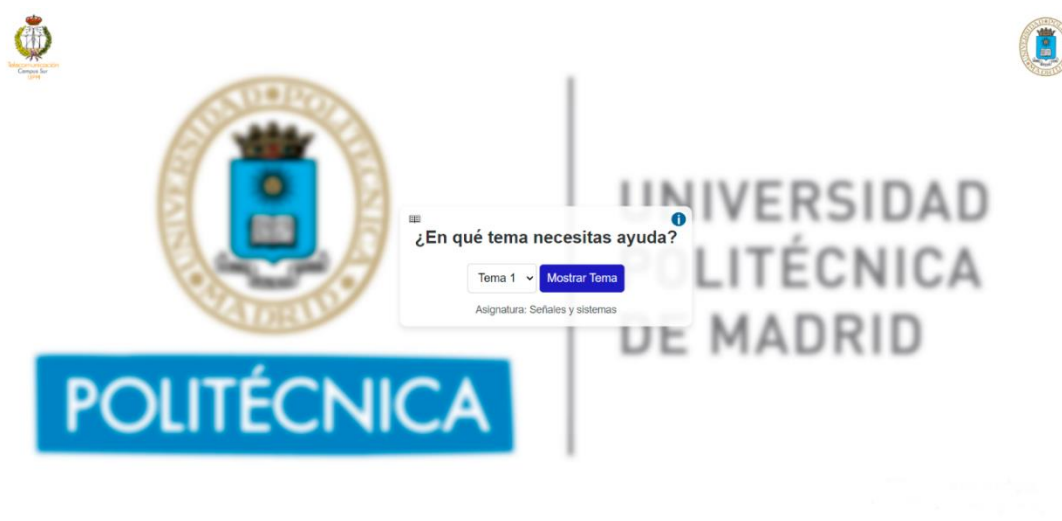


Figura 20. Panel principal

### 5.6.2 Información sobre la web

A este panel se accede a través del icono "i", véase Figura 21, y se mostrará un nuevo panel, como se puede observar en la Figura 22. El objetivo de este panel es describir la finalidad de la página web y ofrecer una guía clara sobre como navegar en la misma.



Figura 21. Icono de información sobre la web

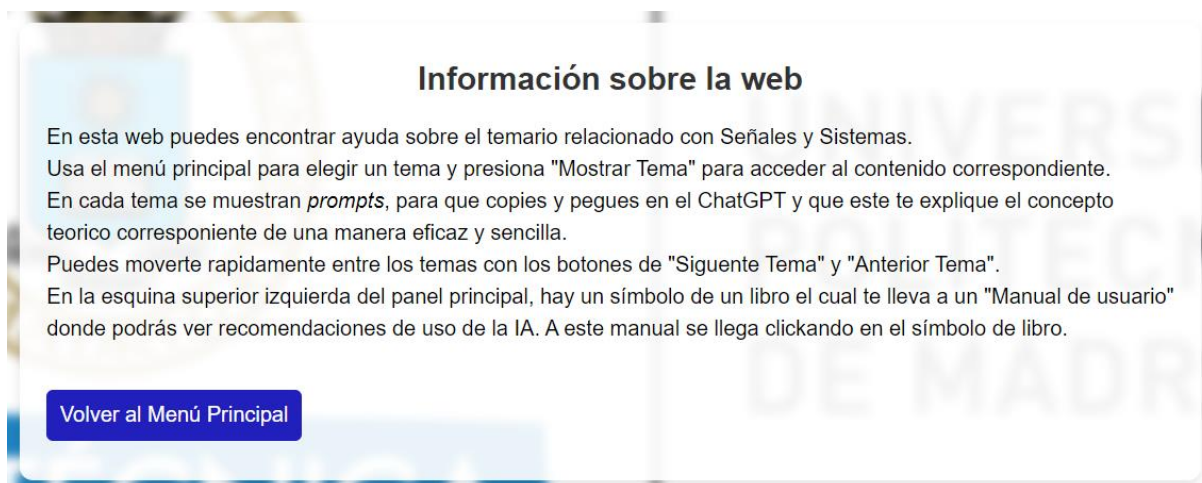


Figura 22. Panel de información sobre la web

Dentro del panel, se explican las principales funcionalidades de la web, tales como la selección de temas específicos mediante un menú desplegable y la opción de mostrar el contenido al pulsar el botón "Mostrar Tema". Además, se proporciona orientación sobre cómo utilizar los *prompts* que se muestran en la web en el entorno de ChatGPT.

La navegación entre los temas se facilita con botones dedicados para avanzar al siguiente tema o regresar al anterior, asegurando una experiencia de usuario intuitiva. Adicionalmente, en la esquina superior izquierda del panel principal, se encuentra un icono con la imagen de un libro, con el cual puede acceder a la guía técnica.

### 5.6.3 Guía técnica

La última sección clave corresponde a la guía técnica sobre el uso de IA para la asignatura de Señales y Sistemas. A esta se accederá a través del icono del libro, véase Figura 23. Una vez pulsemos dicho botón nos aparecerá el panel correspondiente a la guía técnica, la cual da

instrucciones de entrada para la herramienta ChatGPT, junto a consejos, recomendaciones y aclaraciones sobre posibles errores comunes de la IA.



Figura 23. Icono guía técnica

En esta guía se muestran aclaraciones sobre cómo usar la IA como herramienta de estudio y se señala los conceptos más problemáticos. Dichas cuestiones son:

- Antes de comenzar el chat, se recomienda poner esta introducción: “Buenas soy alumno de la ETSIST y tengo dudas en la asignatura de señales y sistemas, me podrías ayudar”
- Desglosar la duda que tengas en sus partes más pequeñas posibles y formular preguntas una a una.
- Ser lo más claro y conciso posible a la hora de preguntar.
- Hablarle de una manera correcta y clara. Esta no hace falta que sea super formal, ya que el ChatGPT se adapta a ti.
- Si se desea preguntar sobre ecuaciones, si es posible hacerlo mediante imágenes, o bien usando claramente  $()$  para que no haya posible confusión.
- Cuanto más contexto le des sobre el concepto del que tienes dudas y sobre tu nivel de conocimiento, mejor será la respuesta obtenida.
- Concretar en que dominio se desea trabajar.
- Analizar el análisis de propiedades de sistemas LTI basado en su respuesta al impulso, especialmente la linealidad o estabilidad
- Para expresiones con  $\Omega$  o  $\omega$ , usar omega, ohm o directamente  $w$ .
- Comprobar cálculos aritméticos, especialmente los más simples.
- Si se quiere algún ejemplo con una función matemática, se recomienda que se use el seno o el coseno.
- Comprobar que versión del ChatGPT se está usando ya que con la 3.5 se obtienen resultados incorrectos con mucha más probabilidad en conceptos como conversión digital analógico, filtros.
- Revisar fórmulas concretas, especialmente en filtros.
- Repetir la misma pregunta en distintos formatos, para así verificar que se obtiene una respuesta similar.

## 5.7 Resumen de la asignatura

Este último subapartado se ha hecho para poder juntar en una tabla los resultados obtenidos sobre los diferentes temas. En la siguiente tabla se muestra una clasificación acorde a la efectividad de la IA para responder sobre a los diferentes temas de la asignatura.

La Tabla 1, sigue la siguiente escala de puntuación con la finalidad de evaluar la calidad y precisión de las respuestas generadas:

1. Muy deficiente: La explicación proporcionada sobre el concepto en cuestión es errónea y carece de precisión. Incluso con un elevado número de *prompts* detallados, la respuesta no alcanza un nivel satisfactorio.
2. Deficiente: La explicación inicial es considerablemente incorrecta, aunque contiene algunos elementos correctos. Similar al nivel 1, la respuesta no mejora significativamente incluso después de refinar con indicaciones.
3. Regular: La explicación inicial es parcialmente correcta, aunque es incompleta o contiene imprecisiones. Con modificaciones en las instrucciones, se obtienen resultados considerablemente mejorados.
4. Buena: La explicación inicial es considerablemente precisa y completa, con mínimos errores o carencias de contenido. Con pocas modificaciones en las instrucciones, se logra una explicación óptima.
5. Excelente: Con una *prompt* simple y sin necesidad de especificaciones adicionales, se obtiene la explicación deseada, completa y sin errores.

Además de la interacción ya comentada en el tercer y cuarto tema, también se ha comprobado la versión 4 con los *prompts* para los primeros dos temas obteniéndose resultados claramente mejores, como se puede observar en la Tabla 1.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se ha llegado a la conclusión de que el baremo mínimo para considerar al ChatGPT como suficientemente bueno para la explicación de los conceptos de esta asignatura es un como mínimo una puntuación de 4 (Bien).

Tabla 1. Calificación cualitativa de las respuestas del ChatGPT

	ChatGPT-3.5	ChatGPT-4
<b>Tema 1: Introducción a las señales en el dominio del tiempo</b>	3	4
Señales. Definición y clasificación	3	4
Transformaciones de la variable independiente y propiedades de las señales	2	5
Estudios de señales básicas	3	4
<b>Tema 2: Sistemas en el dominio del tiempo</b>	4	5
Definición de sistemas y de sus propiedades.	4	5
Sistemas lineales e invariantes en el tiempo (LTI)	4	5
Representación de señales en términos de impulsos	3	4
Sistemas de tiempo discreto lineales e invariantes en el tiempo	4	4
Sistemas de tiempo continuo lineales e invariantes en el tiempo	3	5
Propiedades de los sistemas lineales e invariantes en el tiempo	3	5
<b>Tema 3: Análisis de Fourier para señales y sistemas de tiempo continuo</b>	3	5
Introducción	4	4
Respuesta de sistemas continuos LTI a señales exponenciales complejas	3	4
Desarrollo en series de Fourier de señales periódicas	3	5
Transformada de Fourier para señales periódicas	4	5
Transformada de Fourier para señales no periódicas	3	4
Respuesta en frecuencia de sistemas continuos	3	4
Muestreo ideal	3	5
Aplicación de la Transformada de Laplace a los sistemas LTI	2	5
La función del sistema de sistemas continuos	3	5
Sistemas descritos por ecuaciones diferenciales lineales de coeficientes constantes	2	4
Introducción al filtrado	3	5
<b>Tema 4: Análisis de Fourier para señales y sistemas de tiempo discreto</b>	3	4
Introducción.	3	5
Respuesta de sistemas discretos LTI a señales exponenciales complejas	3	4
Representación de señales periódicas: la serie discreta de Fourier.	2	5
Transformada de Fourier para secuencias no periódicas	3	5
Transformada de Fourier para secuencias periódicas	2	3
Respuesta en frecuencia de sistemas discretos	3	5
Estudio de señales y sistemas discretos en el dominio transformado Z	3	5
La función de sistema de sistemas discretos	3	4
Sistemas de tiempo discreto descritos por ecuaciones en diferencias lineales de coeficientes constantes	3	4
Introducción al filtrado	3	4



## 6. Presupuesto

El desarrollo de este proyecto de fin de grado requiere un presupuesto teniendo en cuenta diversos costes asociados como el coste del hardware y el del ingeniero técnico principalmente. En cuanto a la IA usada es totalmente gratuita ya que la finalidad de este trabajo es que todo alumno que quiera lo pueda usar de forma gratuita, en cuanto al hardware es posible que haya que mejorar por lo que se supone una mejora de RAM y de disco duro de aproximadamente 200€. Por último, se tiene en cuenta las horas de trabajo del estudiante la cual se paga a 12,82€/hora [26] y la del tutor 27,54€/hora [27]. La estimación de horas del estudiante para este proyecto ha sido 20 horas por semana durante 4 meses, dando un total de 320. Y las del tutor 2 hora por semana durante los 4 meses, haciendo así 32 horas. El presupuesto total se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Presupuesto completo del proyecto

<b>Costes de hardware</b>	200 €
<b>Valor de trabajo del estudiante</b>	4102 €
<b>Valor estimado de asesoría del tutor</b>	880 €
<b>Total</b>	<b>5182 €</b>



## 7. Impacto del proyecto

Como ya se ha explicado anteriormente el objetivo principal de este proyecto es desarrollar una guía que facilite a los futuros alumnos la comprensión de conceptos teóricos en la asignatura de Señales y Sistemas a través de la interacción con ChatGPT. Se espera que este recurso brinde un apoyo significativo a los estudiantes, optimizando su experiencia de aprendizaje y ayudándoles a resolver dudas teóricas de manera eficiente. Debido a la naturaleza y finalidad del proyecto este va a tener tanto implicaciones sociales, ambientales, económicas y profesionales. De las cuales se puede destacar:

- Accesibilidad a la educación: La implementación de IA como herramienta educativa democratiza el acceso a recursos de aprendizaje de alta calidad, permitiendo que estudiantes de diversas procedencias y contextos socioeconómicos puedan beneficiarse de explicaciones y ejemplos personalizados. Esto contribuye a reducir las brechas educativas.
- Inclusión: Las capacidades de la IA para adaptar el contenido a diferentes niveles de comprensión favorecen la inclusión de estudiantes con diferentes estilos y ritmos de aprendizaje, potenciando así su desarrollo académico.
- Bienestar mental: La disponibilidad de una IA que pueda ayudar a los estudiantes a comprender conceptos difíciles puede reducir el estrés y la ansiedad asociados con el estudio de materias complejas. Al ofrecer una fuente adicional de apoyo, se mejora el bienestar emocional de los estudiantes.
- Reducción de material impreso: El uso de IA y plataformas digitales para el aprendizaje disminuye la necesidad de materiales impresos, contribuyendo a la reducción del consumo de papel y, por ende, al cuidado del medio ambiente.
- Costos Educativos: La utilización de herramientas de IA gratuitas puede reducir los gastos en materiales educativos adicionales y tutorías, ofreciendo una alternativa accesible para estudiantes con menos recursos económicos.
- Competitividad Laboral: Formar a estudiantes en el uso y comprensión de tecnologías avanzadas como la IA mejora su competitividad en el mercado laboral, preparándolos mejor para el futuro laboral.
- Innovación Educativa: La integración de IA en la educación representa un avance significativo en la innovación educativa, proporcionando nuevas formas de enseñar y aprender que pueden ser adoptadas por otras instituciones académicas.

En cuanto a los objetivos de desarrollo sostenibles propuesto por las Naciones Unidas se puede ver como claramente cumple varios de estos objetivos

- ODS 4, Educación de calidad: Este proyecto contribuye directamente al ODS 4 al mejorar la calidad de la educación mediante el uso de IA, facilitando el aprendizaje inclusivo y equitativo, y promoviendo oportunidades de aprendizaje durante toda la vida.

- ODS 9, Industria, innovación e infraestructura: Al fomentar el uso de tecnologías avanzadas y preparar a los estudiantes para su uso en la industria, este proyecto apoya el desarrollo de infraestructuras modernas, la promoción de la industrialización inclusiva y sostenible y el fomento de la innovación.
- ODS 10, Reducción de las desigualdades: Este objetivo está muy relacionado con el ya comentado ODS 4, ya que como con la IA se puede proporcionar recursos educativos accesibles y equitativos a todos los estudiantes, independientemente de su contexto socioeconómico, este proyecto contribuye a reducir las desigualdades en el acceso a una educación de calidad.

## 8. Conclusiones

Este proyecto se ha centrado en recolectar respuestas proporcionadas por ChatGPT a preguntas sobre la teoría de la asignatura de señales y sistemas, con el objetivo de evaluarla y usarla como herramienta de apoyo para los estudiantes. En concreto:

- Se han analizado las características técnicas de varias herramientas gratuitas de IA generativa, en concreto Gemini y ChatGPT. Tras las pruebas iniciales se ha decidido centrar el estudio en el uso de ChatGPT, aunque los resultados serían extrapolables, en muchos casos, a otras herramientas similares.
- Se ha analizado cómo se deben plantear cuestiones relativas a la asignatura de Señales y Sistemas a esta IA para obtener una adecuada explicación de diversos conceptos. Con ello se ha establecido una estrategia de interacción con la IA que es conveniente para obtener resultados adecuados al contenido y nivel de la asignatura bajo estudio.
- Se ha recopilado una serie de temas con cuestiones específicas y un análisis y valoración de la utilidad de las respuestas obtenidas. Así mismo, se han analizado aquellas cuestiones en las que la IA, en su versión gratuita más reciente, muestra respuestas imprecisas o incluso erróneas.
- Se ha elaborado una guía de recomendaciones de uso de esta herramienta. Para facilitar el acceso a dichas recomendaciones se ha elaborado una página web en la cual, además de estas recomendaciones, se incluyen una serie de cuestiones (*prompts*) de interés en la asignatura, a las que la herramienta responde adecuadamente.
- Por último, tras analizar los resultados de una encuesta realizada a los alumnos, se puede decir que este tipo de herramientas está siendo utilizada y seguirá usándose con fines académicos por parte de los alumnos.

Los resultados obtenidos demuestran el avance significativo de la inteligencia artificial y sugieren una inevitable integración de estas tecnologías en el sistema educativo, tanto en niveles básicos como en niveles avanzados, como la educación universitaria.

Inicialmente, con la versión gratuita de ChatGPT 3.5 disponible al inicio del proyecto, las respuestas proporcionadas eran aceptables, pero ocasionalmente presentaban errores, especialmente en temas más complejos. Sin embargo, desde marzo de 2023, OpenAI lanzó una versión gratuita de ChatGPT-4, la cual, aunque limitada en el número de preguntas diarias, ofrece una mejora más que notable en la calidad de las respuestas, proporcionando explicaciones más claras, completas y correctas.

A pesar de las limitaciones actuales en cuanto al número de interacciones diarias, se espera que esta tecnología continúe mejorando y que en un futuro cercano la versión completa de ChatGPT-4 pueda estar disponible de forma gratuita para todos los usuarios.

Para consolidar los hallazgos del proyecto, se ha desarrollado una página web que actúa como una guía interactiva, además de mostrar *prompts* útiles para los distintos conceptos de cada tema. Estos *prompts* específicos, los estudiantes los pueden copiar y pegar en ChatGPT para

obtener respuestas y aclaraciones sobre cualquier concepto relacionado con la asignatura. Esta herramienta no solo facilita el acceso a la información, sino que también potencia el aprendizaje autónomo y personalizado.

### **8.1 Líneas futuras y aspectos de mejores**

Aunque este proyecto puede considerarse completado y finalizado, existen algunas mejoras adicionales que podrían implementarse para mejorar la guía interactiva:

- **Retroalimentación:** Sería beneficioso incluir un sistema de calificación para cada sección, permitiendo a los estudiantes evaluar la utilidad de las respuestas proporcionadas. Esto no solo ayudaría a identificar las explicaciones más efectivas y claras, sino que también permitiría a los futuros usuarios ver qué contenidos han sido mejor valorados por sus compañeros. Además, esta retroalimentación podría utilizarse para refinar y actualizar continuamente los *prompts*, asegurando que la información proporcionada sea lo más precisa y correcta posible.
- **Accesibilidad en múltiples dispositivos:** Actualmente, la página web está optimizada para su uso en portátiles u ordenadores de escritorio, que son los dispositivos de estudio más comunes entre los estudiantes. No obstante, sería una mejora significativa hacer la plataforma completamente accesible y fácil de navegar desde teléfonos móviles y tabletas. Esto permitiría a los estudiantes acceder a la guía de manera más flexible y conveniente, independientemente del dispositivo que utilicen, facilitando el aprendizaje en cualquier momento y lugar.

## 9. Referencias

- [1] J. Sossa Azuela, «El papel de inteligencia artificial en la industria 4.0,» 2020.
- [2] T. Wu y e. a. , «"A Brief Overview of ChatGPT: The History, Status Quo and Potential Future Development",» *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, vol. 10, nº 5, pp. 1122-1136, 2023.
- [3] M. Javaid, A. Haleem, R. Singh, S. Khan y I. Khan, « "Unlocking the opportunities through ChatGPT Tool towards ameliorating the education system",» *BenchCouncil Transactions on Benchmarks, Standards and Evaluations*, vol. 3, nº 2, pp. 1-12, 2023.
- [4] A. Strelecki, « "To use or not to use ChatGPT in higher education? A study of students' acceptance and use of technology",» *Interact. Learn. Environ.*, pp. 1-14, 2023.
- [5] M. Neumann, M. Rauschenberger y E. Schön, «"We Need To Talk About ChatGPT: The Future of AI and Higher Education",» *IEEE/ACM 5th International Workshop on Software Engineering Education for the Next Generation (SEENG)*, pp. 29-32, 2023.
- [6] K. Wang, E. Burkholder, C. Wieman, C. Salehi y N. Haber, «"Examining the potential and pitfalls of ChatGPT in science and engineering problem-solving",» *Frontiers in Education*, vol. 8, nº 2024, 2024.
- [7] S. Nikolic, S. Daniel, R. Hauqe, M. Belkina, G. M. Hassan, Grundy, S. y C. Sandison, «"ChatGPT versus engineering education assessment: a multidisciplinary and multi-institutional benchmarking and analysis of this generative artificial intelligence tool to investigate assessment integrity",» *European Journal of Engineering Education*, nº 2023, pp. 559-614, 2023.
- [8] F. de Sande y P. López Ramos, «"El impacto de asistentes basados en IA en la enseñanza-aprendizaje de la programación",» de *Actas de las JENUI*, 2023.
- [9] R. Rodríguez-Echeverría, J. Gutiérrez, J. Conejero y A. Prieto, «"Impacto de ChatGPT en los métodos de evaluación de un grado de Ingeniería Informática",» de *Actas de las JENUI*, 2023.
- [10] OpenAI, «ChatGPT,» OpenAI, Septiembre 2024. [En línea]. Available: <https://chat.openai.com/>.
- [11] Peplexity, «Perplexity,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.perplexity.ai/>.
- [12] Google, «Gemini,» 2024. [En línea]. Available: <https://gemini.google.com/app>.

- [13] Xataka, «ChatGPT: qué es y cómo usarlo,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/basics/chatgpt-que-como-usarlo-que-puedes-hacer-este-chat-inteligencia-artificial>. [Último acceso: 2024].
- [14] UPM, «Guía Académica del Curso 2023-2024: Asignatura Señales y Sistemas.,» 3 Junio 2024. [En línea].
- [15] A. V. Oppenheim y A. S. Willsky, Señales y sistemas, Prentice Hall, 1983.
- [16] E. Vilchez Quesada, «Sistemas expertos para la enseñanza y el aprendizaje de la matemática en la educación superior,» *Cuadernos de investigación y formación en educación matemática*, nº 3, pp. 45-87, 2007.
- [17] F. W. Khaled, N. M. Fawzi y A. H. Junoh, «Effectiveness of Culturally Embedded Language Learning (CELL) Using Digital Flashcards in a Distance Learning Environment,» *Journal: Journal of Applied Learning & Teaching*, vol. 4, nº 2, pp. 1-15, 2023.
- [18] IBM, «"¿Que es un chatbot?»,» 05 Agosto 2024. [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/es-es/topics/chatbots>. [Último acceso: 28 julio 2024].
- [19] F. O. Weiqi Xu, W. Xu y F. Ouyang, «The application of AI technologies in STEM education: a systematic review from 2011 to 2021,» *International Journal of STEM Education*, vol. 9, p. 59, 2022.
- [20] A. Abdulrazar y W. Abdelmoez, «Reinforcement learning framework for optimizing maintenance policies,» *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 31, nº 3, pp. 711-724, 2023.
- [21] I. Kelly, J. Scott Kelly y V. Watson, «A Guide to Countering Foreign Information Operations,» Atlantic Council, Washington D.C., 2019.
- [22] M. Javaid, A. Heleem, R. Pratap Singh, S. Khan y I. H. Khan, «Unlocking the opportunities through ChatGPT Tool towards ameliorating the education system,» *BenchCouncil Transactions on Benchmarks, Standards and Evaluations*, vol. 3, nº 2, pp. 45-56, 2023.
- [23] InvGate, «InvGate Blog,» 6 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://blog.invgate.com/es/estadisticas-de-chatgpt>.
- [24] «MDN Web Docs,» 2024. [En línea]. Available: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTML>.
- [25] FalconMasters, «YouTube,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=oZa2Ut8u2S0>. [Último acceso: 2024].

- [26] M. Coppola, «Qué es HTML y cómo utilizarlo (guía para principiantes),» HubSpot, 9 Octubre 2023. [En línea]. Available: <https://blog.hubspot.es/website/html>. [Último acceso: 2024].
- [27] B. López, «La guía rápida para aprender CSS básico desde cero,» Ciudadano 2.0, 27 Enero 2023. [En línea]. Available: <https://www.ciudadano2cero.com/aprender-css-basico-desde-cero/>. [Último acceso: 2024].
- [28] M. Coppola, «Qué es JavaScript, para qué sirve y cómo funciona,» HubSpot, 10 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://blog.hubspot.es/website/que-es-javascript>.
- [29] P. informaticas, «Curso de JavaScript desde 0,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=m2nscBtQEIs&list=PLU8oAIHdN5BmpobVmjl1IneKIVLJ84TID>. [Último acceso: 2024].
- [30] J. Higuera Barrantes , R. Márquez Jorge, J. C. González de Sande y J. M. Díaz López, «Signals and Systems Explained by Artificial Intelligence,» de *EDULEARN24 Proceedings*, 2024.
- [31] E. K. Swart y M. T. Sikkema-de Jong, «The effects of increased dopamine-levels on attentional control during reading and reading comprehension,» *Current Psychology*, vol. 42, pp. 11009-11025, 2021.
- [32] J. M. Rodríguez González y E. Gálvez Hidalgo, «Evaluación de herramientas de IA en la gestión de infraestructuras urbanas,» *Revista Internacional de Tecnologías de la Información*, vol. 9, nº 1, pp. 67-84, 2023.
- [33] Wikipedia, «Visual Studio Code,» 2024. [En línea]. Available: Visual Studio Code.
- [34] «Talent.com,» [En línea]. Available: <https://es.talent.com/salary?job=ingeniero+junior#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1nto%20Ogana%20un%20Ingeniero%20junior%20en%20Espa%C3%B1a%3F&text=El%20salario%20ingeniero%20junior%20promedio,hasta%20%E2%82%AC%2031.895%20al%20a%C3%B1o..> [Último acceso: 8 Julio 2024].
- [35] «Joooble,» [En línea]. Available: <https://es.jooble.org/salary/ingeniero-senior/Madrid#hourly..> [Último acceso: 8 Julio 2024].



