



Universidad Internacional de La Rioja
Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Máster Universitario en Inteligencia artificial

**Investigación y desarrollo de facilitadores
de deliberación y decisión colectivas
basados en IA**

Trabajo fin de estudio presentado por:	Carlos Rossique Delmas
Tipo de trabajo:	Desarrollo de Software
Director/a:	Ainhoa García Sánchez
Fecha:	23/07/2025

Resumen

Este Trabajo de Fin de Máster aborda el desafío de facilitar la toma de decisiones colectivas en contextos complejos mediante el uso de técnicas avanzadas de inteligencia artificial, con especial énfasis en el procesamiento de lenguaje natural (PLN), el razonamiento automático y la optimización multiobjetivo. Ante las limitaciones de los mecanismos tradicionales de votación y deliberación —particularmente en entornos numerosos y polarizados— se exploran nuevas formas de estructurar el discurso colectivo para fomentar consensos más integradores, informados y sostenibles.

El trabajo se estructura en tres ejes principales: (1) una revisión exhaustiva del estado del arte en herramientas digitales de inteligencia colectiva y en la integración emergente de IA en procesos deliberativos; (2) la formulación de un álgebra formal de propuestas, que define un conjunto de operaciones y relaciones métricas y semánticas para representar, transformar y comparar proposiciones expresadas en lenguaje natural; y (3) el diseño conceptual de un prototipo de asistente deliberativo, implementado como aplicación web modular e interoperable, basado en arquitecturas modernas de IA como el uso de grandes modelos de lenguaje (*LLMs*) mediante técnicas de *prompting* y *RAG*.

Aunque la implementación práctica del sistema es aún bastante básica, este trabajo pretende sentar las bases metodológicas y conceptuales para futuros avances en la facilitación algorítmica de la deliberación colectiva. Se concluye que la inteligencia artificial tiene el potencial de enriquecer sustancialmente la calidad del diálogo público, siempre que su aplicación respete principios de transparencia, trazabilidad, autonomía deliberativa y orientación hacia el consenso.

Palabras clave: inteligencia colectiva, deliberación asistida, procesamiento de lenguaje natural, álgebra de propuestas, modelos de lenguaje.

Abstract

This Master's Thesis addresses the challenge of facilitating collective decision-making in complex contexts through advanced artificial intelligence techniques, with a focus on natural language processing (NLP), automated reasoning, and multi-objective optimization. Given the limitations of traditional voting and deliberation mechanisms—particularly in large-scale or polarized environments—this work explores new ways to structure collective discourse in order to foster more integrative, informed, and sustainable consensus.

The study is structured around three main components: (1) a comprehensive review of the state of the art in digital tools for collective intelligence and the emerging integration of AI in deliberative processes; (2) the formulation of a formal proposal algebra, defining a set of operations and semantic/metric relations to represent, transform, and compare propositions expressed in natural language; and (3) the conceptual design of a deliberative assistant prototype, envisioned as a modular and interoperable web service, based on modern AI architectures including large language models (LLMs) through prompting and retrieval-augmented generation (RAG).

Although the practical implementation of the system is still quite basic, this work aims to lay the methodological and conceptual foundations for future advances in the algorithmic facilitation of collective deliberation. It concludes that artificial intelligence has the potential to substantially enrich the quality of public dialogue, provided its application respects the principles of transparency, traceability, deliberative autonomy, and consensus-building.

Keywords: collective intelligence, assisted deliberation, natural language processing, proposal algebra, language models.

Índice de contenidos

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 MOTIVACIÓN	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO	2
1.2.1 Finalidad del TFM	2
1.2.2 Avance de características del prototipo propuesto	3
1.2.3 Enfoque de la implementación del prototipo.....	3
1.3 ESTRUCTURA DEL TRABAJO	4
2. CONTEXTO Y ESTADO DEL ARTE	5
2.1 CONTEXTO.....	5
2.1.1 Introducción	5
2.1.2 Deliberación y decisión colectivas	5
2.1.3 Método Delphi	9
2.1.4 Frente de Pareto y optimización multiobjetivo	10
2.1.5 Introducción a una posible nueva álgebra de propuestas.....	11
2.1.6 Irrupción de la inteligencia artificial.....	11
2.1.7 Modelos de lenguaje de gran escala (<i>LLMs</i>)	13
2.2 ESTADO DEL ARTE	15
2.2.1 Herramientas TIC de facilitación de inteligencia colectiva	15
2.2.2 Formulaciones previas de álgebras deliberativas	21
2.2.3 Integración emergente de IA y <i>LLMs</i> en procesos deliberativos	22
2.3 CONCLUSIONES.....	24
3. OBJETIVOS CONCRETOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO	26
3.1 OBJETIVO GENERAL	26

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
3.3 PLANTEAMIENTO DE UN NUEVO ÁLGEBRA DE PROPUESTAS	26
3.4 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL PROTOTIPO	29
4. IDENTIFICACIÓN DE REQUISITOS.....	31
4.1 DELIMITACIÓN DEL ALCANCE, ROLES Y CASOS DE USO	31
4.1.1 Delimitación del alcance	31
4.1.2 Roles	32
4.1.3 Diagrama general de casos de uso.....	32
4.2 REQUISITOS.....	33
4.2.1 Requisitos funcionales:	33
4.2.2 Clases principales y esquema relacional.....	33
4.2.3 Desarrollo mínimo del álgebra en relación a los casos de uso	35
4.2.4 Requisitos tecnológicos.....	36
5. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA DESARROLLADA.....	37
5.1 ARQUITECTURA GENERAL DEL PROTOTIPO.....	37
5.1.1 Visión general modular	37
5.1.2 Justificación arquitectónica.....	38
5.2 INTEGRACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA Y DETALLE DE CADA CAPA	38
5.2.1 Hardware y aspectos generales	38
5.2.2 Interfaz WEB y <i>Backend</i> PHP	39
5.2.3 Base de datos MySQL.....	40
5.2.4 Integración con <i>backend</i> Python.....	41
5.3 DISEÑO DEL FLUJO DELIBERATIVO.....	42
5.3.1 Visión general.....	42

5.3.2 Tipos de debates y escenarios de interacción	43
5.3.3 Casos de uso para pruebas funcionales.....	45
5.4 INTEGRACIÓN DEL ÁLGEBRA DE PROPUESTAS Y EL <i>LLM</i>	46
5.4.1 <i>Prompting</i> básico de operaciones del álgebra.....	46
5.4.2 Uso de asistente y <i>RAG</i>	48
5.4.3 Datos de ingesta <i>RAG</i> para su uso con el <i>LLM</i>	49
5.4.3 Métricas globales de los debates y estrategia de facilitación.	49
5.5 BREVE GUÍA DE USO DEL PROTOTIPO	50
6. EVALUACION DE LA HERRAMIENTA DESARROLLADA	54
6.1 OBJETIVOS DE LA VALIDACIÓN	54
6.2 ESCENARIOS DE EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO	54
6.3 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN Y MÉTRICAS	55
6.3 RESULTADOS PRELIMINARES	55
6.3.1 Utilidad funcional	55
6.3.2 Tiempos de respuesta de los <i>LLMs</i> y el planificador. Costes asociados.	55
6.3.3 Claridad de las propuestas y percepción de los usuarios	56
7. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	57
7.1 CONCLUSIONES	57
7.2 LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXO A. CÓDIGO FUENTE	63
ANEXO B. CAPTURAS DE PANTALLA DEL PROTOTIPO	64

Índice de figuras

Figura 1. Ámbito general del TFM (Fuente: Elaboración propia)	2
Figura 2: Jerarquía de decisión colectiva (Fuente: Elaboración propia)	6
Figura 3. Esquema de un posible ciclo orientado al consenso (Fuente: Elaboración propia)...	8
Figura 4. Proceso deliberativo en el método Delphi (Fuente: elsevier.es)	9
Figura 5. Esquema del Frente de Pareto (Fuente: Wikipedia)	10
Figura 6. Áreas de la inteligencia artificial (Fuente: Elaboración propia)	12
Figura 7. Esquema de funcionamiento de <i>RAG</i> (Fuente: consultor365.com).....	14
Figura 8. Votación de una propuesta en Loomio (Fuente: Loomio)	16
Figura 9. Algoritmos de IA en CiBUC (Fuente: cibuc.com)	17
Figura 10. Jerarquía de dominación en Vilfredo (Fuente: Vilfredo goes to Athens).....	18
Figura 11. Jerarquía de argumentos a favor y en contra en Kialo (Fuente: Kialo)	19
Figura 12. Votación de una tendencia en dlbrt (Fuente: dlbrt)	20
Figura 13. Gráfico radar de herramientas (Fuente: Elaboración propia)	20
Figura 14. Casos de uso de la aplicación (Fuente: Elaboración propia)	32
Figura 15. Diagrama de las principales clases (Fuente: Elaboración propia)	33
Figura 16. Modelo Entidad-Relación (Fuente:Elaboración Propia)	34
Figura 17. Diagrama de bloques esquemático del prototipo (Fuente: Elaboración propia)	37
Figura 18. Estructuración de los ficheros php (Fuente: Elaboración propia).....	39
Figura 19. Modelo relacional de la base de datos (Fuente: Elaboración propia)	41
Figura 20. Esquema de flujo deliberativo (Fuente: Elaboración propia).....	42
Figura 21. Flujo simplificado tipo Appgree. (Fuente: Elaboración propia)	44
Figura 22. Operaciones del álgebra de propuestas (Fuente: Elaboración propia)	48
Figura 23. Cabecera de la aplicación (Fuente: Elaboración propia)	50

Figura 24. Listado de debates (Fuente: Elaboración propia)	51
Figura 25. Texto inicial de un debate (Fuente: Elaboración propia)	52
Figura 26. Propuestas de un debate (Fuente: Elaboración propia)	52
Figura 27. Inserción de una nueva propuesta (Fuente: Elaboración propia).....	53
Figura 28. Tiempo y coste de los operadores por LLM (Fuente: Elaboración propia)	56

Índice de tablas

Tabla 1. Comparativa de herramientas deliberativas	21
Tabla 2. Cuadro resumen de uso incipiente de IA en procesos deliberativos.	24
Tabla 3. Resumen de atributos y métodos de las propuestas.	28
Tabla 4. Niveles de madurez tecnológica	31
Tabla 5. Requisitos funcionales de la aplicación	33
Tabla 6. Relación de ficheros php y javascript	39
Tabla 7. Escenarios de evaluación.....	54

1. INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más interconectado y con problemas de creciente complejidad, la toma de decisiones colectivas enfrenta el desafío de integrar múltiples perspectivas, intereses y valores. Los métodos tradicionales —votaciones mayoritarias o deliberación en grupos pequeños— resultan limitados para capturar los matices y las contradicciones de las propuestas.

A gran escala, la democracia representativa suele basarse en votaciones binarias, donde gana la mayoría y se pierde la riqueza y los matices del disenso. Puede plantearse toda una jerarquía en las decisiones colectivas, que va desde votaciones sí/no en propuestas unidireccionales y cerradas, hacia la deliberación, el consenso y la inteligencia colectiva pasando por votaciones proporcionales, abiertas, preferenciales, ponderadas, líquidas, en ciclo, etc.

Aunque existen procesos negociadores que teóricamente pueden darse en algunos entornos políticos y sociales, en contextos muy polarizados estos tienden a fallar, quedando todo en el rodillo de las mayorías. Por contraste, el consenso busca una decisión aceptable para todos, a través de deliberación y ajuste mutuo. Sin embargo, este proceso requiere mucho más tiempo y esfuerzo, ciclo, bidireccionalidad, y su dificultad crece con el tamaño del grupo. Aun así, sus decisiones tienden a ser más integradoras, más ricas, más informadas, más estables a futuro y más eficaces en su aplicación.

1.1 MOTIVACIÓN

En este escenario, surge la oportunidad de aplicar IA para asistir en procesos decisarios que fomenten la cooperación, el consenso y la inteligencia colectiva en aras de resolver cuestiones y conflictos de cierta complejidad. Frente su impacto y eficacia ya probada en amplios sectores comerciales o industriales, sorprende la todavía escasa exploración de su potencial en la resolución colaborativa de problemas colectivos urgentes.

El contexto actual —con retos globales como el cambio climático o la gobernanza digital— hace necesario repensar nuestras formas de decidir juntos. La inteligencia colectiva, apoyada por tecnologías de participación y deliberación, puede dejar de ser una utopía para convertirse en una necesidad perentoria. Este proyecto parte de esa motivación: explorar de qué modos la IA puede facilitar el diálogo y la construcción de consensos en entornos reales.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

1.2.1 Finalidad del TFM

Este Trabajo de Fin de Máster tiene una doble finalidad (Figura 1):

1. Investigar, por una parte, el estado del arte en inteligencia artificial aplicada a la toma de decisiones colectivas de manera deliberativa y, por otra, la base y adecuación de varios conceptos teóricos y tecnologías aplicables a este problema como son el método Delphi, el frente de Pareto, y la introducción de una nueva álgebra de propuestas que aproveche el desarrollo actual del procesamiento del lenguaje natural (PLN) y en particular los modelos de lenguaje a gran escala (*LLMs*)
2. Diseñar y desarrollar un prototipo de asistente basado en IA que facilite estos procesos mediante dichas técnicas, con el uso de inteligencia artificial; procesamiento de lenguaje natural, razonamiento automático y optimización multi-objetivo.

Dicho prototipo, denominado provisionalmente “Aplicación - Laboratorio de Inteligencia Colectiva y Consenso basado en IA”, (ALICCIA), se concibe como:

- Una guía pedagógica, mostrando la aplicación práctica de distintos conceptos teóricos y variadas formas de utilización de la IA en la deliberación colectiva.
- Un laboratorio, para testear distintos algoritmos, modelos y metodologías en contextos reales o simulados.
- Una plataforma abierta y usable, sirviendo de base extensible para posibles futuros desarrollos en este campo de la decisión y deliberación colectivas.

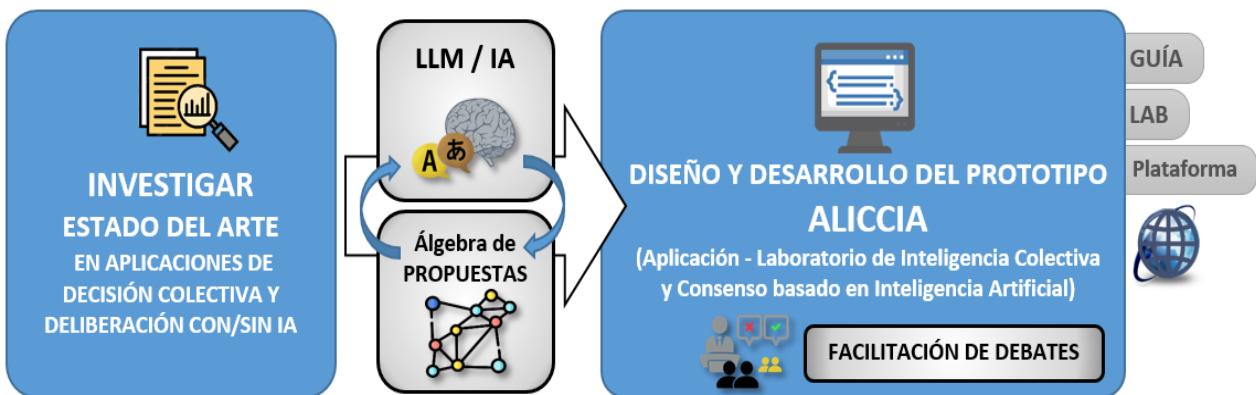


Figura 1. Ámbito general del TFM (Fuente: Elaboración propia)

1.2.2 Avance de características del prototipo propuesto

El asistente aprovechará las tecnologías de inteligencia artificial de procesamiento del lenguaje natural (PLN) en su vertiente más generativa, es decir, el uso de modelos de gran escala (*LLMs*) ya entrenados, que permitirán analizar lingüísticamente propuestas expresadas en lenguaje natural, identificar conflictos, acuerdos y ambigüedades en los discursos grupales o generar resúmenes, reformulaciones y propuestas alternativas.

Por otra parte, se plantea el uso de técnicas de sondeo y planificación heurística multi-objetivo para guiar hacia el consenso al grupo de participantes de un debate, a través de distintas metodologías de decisión colectiva, incluyendo el uso del frente de Pareto como mecanismo para identificar soluciones equilibradas y aceptables para múltiples actores.

Asimismo, se definirá un novedoso formalismo algebraico para representar y manipular propuestas argumentativas, con la inclusión de métodos y operandos de tipos variados (unión; intersección, apoyo, cercanía, etc.) facilitando así su comparación estructural, síntesis y reformulación.

Por descontado, se habrán de incorporar métricas de evaluación del prototipo planteado a partir de los procesos deliberativos efectuados y sus resultados.

1.2.3 Enfoque de la implementación del prototipo

La implementación del núcleo de la aplicación relacionado con IA se realizará en Python, utilizando bibliotecas de PLN, aprendizaje automático y planificación multi-objetivo, con énfasis en modelos de lenguaje adaptados mediante *prompting* avanzado y RAG (*Retrieval-Augmented Generation*). El sistema se integrará en una plataforma web previamente desarrollada en PHP y MySQL. La funcionalidad principal del prototipo es facilitar la deliberación entre múltiples actores, detectando zonas de conflicto y generando propuestas que conduzcan a decisiones de consenso, al tiempo que sirve se laboratorio de las mencionadas técnicas de apoyo.

En síntesis, el trabajo persigue tanto una aportación técnica, mediante el desarrollo de un sistema funcional basado en IA, como una aportación metodológica, al explorar formas computacionales de facilitar procesos complejos de inteligencia colectiva y toma de decisiones en entornos distribuidos, cooperativos o potencialmente conflictivos.

1.3 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

Esta memoria se estructura en los siguientes apartados:

- ❖ **Capítulo 1. Introducción:** Presenta la motivación de presente trabajo, su planteamiento general, en el que se incluye su finalidad y las características generales del prototipo, y finalmente la estructura de la memoria.
- ❖ **Capítulo 2. Contexto y estado del arte:** Expone el marco teórico de técnicas de posible aplicación en decisión y deliberación colectivas (el método Delphi, el frente de Pareto, la posible introducción de una nueva álgebra de propuestas, la IA generativa y los *LLMs*) y explora las herramientas existentes en ese ámbito y la integración emergente de la IA en este campo.
- ❖ **Capítulo 3. Objetivos concretos y metodología de trabajo:** Pasa revista a los principales objetivos generales y específicos del trabajo aplicando en la práctica los fundamentos teóricos aplicados y en especial detallando la formulación de la nueva álgebra de propuestas planteada.
- ❖ **Capítulo 4. Identificación de requisitos:** Describe la delimitación del alcance, los requisitos funcionales del prototipo, los casos de uso, sus componentes, la arquitectura general de la solución propuesta y detalles sobre el flujo deliberativo a implementar.
- ❖ **Capítulo 5. Descripción de la herramienta software desarrollada:** Se describe el prototipo incluyendo los algoritmos utilizados y la integración con el entorno web, así como la integración del *LLM* en la álgebra de propuestas. Incluye una breve guía de uso.
- ❖ **Capítulo 6. Evaluación:** Se evalúa el rendimiento y usabilidad de la herramienta, así como su adecuación para resolver el problema propuesto. Se detallan los indicadores utilizables para medir el rendimiento y la utilidad del sistema.
- ❖ **Capítulo 7. Conclusiones y trabajo futuro:** Resume los resultados obtenidos, las contribuciones del proyecto y plantea posibles mejoras y extensiones.

2. CONTEXTO Y ESTADO DEL ARTE

El presente capítulo se centra en dar noticia de los fundamentos teóricos y contextuales alrededor de este tema y en revisar el estado del arte de tecnologías y aplicaciones relacionadas, identificando vacíos y oportunidades que justifican la novedad del presente trabajo.

2.1 CONTEXTO

2.1.1 Introducción

La toma de decisiones colectivas ha sido una preocupación central en disciplinas tan diversas como la filosofía política, la psicología social, la economía conductual y la teoría de sistemas. Con la expansión de internet y el desarrollo de tecnologías colaborativas, han surgido múltiples plataformas y metodologías que buscan mejorar la deliberación y la agregación de preferencias en grupos. En paralelo, la inteligencia artificial (IA), especialmente en su vertiente basada en modelos de lenguaje y razonamiento automatizado, está transformando radicalmente los procesos de análisis y toma de decisiones.

Se presentan aquí los conceptos generales sobre procesos deliberativos. Se detalla también en qué algoritmos y técnicas metodológicas se basa el trabajo; como el método Delphi, el Frente de Pareto o la posibilidad de introducción de una nueva álgebra donde se toman las propuestas como operandos sobre los que se definen diversas operaciones. Asimismo, se hace una introducción general de la Inteligencia Artificial, con especial hincapié en el procesamiento de lenguaje natural (PLN) y en particular en los modelos de lenguaje de gran escala (*LLMs*)

2.1.2 Deliberación y decisión colectivas

La toma de decisiones colectivas implica coordinar las opiniones, intereses y conocimientos de múltiples individuos con el fin de alcanzar resultados informados, legítimos y eficaces. Desde una perspectiva epistemológica, la inteligencia colectiva parte de la premisa de que, bajo ciertas condiciones, los grupos pueden superar en capacidad cognitiva a los individuos que los componen (Surowiecki, 2004).

Sin embargo, las formas tradicionales de decisión y deliberación colectivas presentan importantes limitaciones, como la presencia de sesgos cognitivos, la falta de estructura argumentativa, la polarización ideológica o la dificultad de escalar la participación cuando los grupos son numerosos (Sunstein, 2002; Landemore, 2012).

Históricamente, la teoría del voto ha constituido el marco de referencia para la agregación de preferencias individuales. Un voto expresa la elección de una persona entre un conjunto limitado de opciones, y los mecanismos de votación se han diseñado tradicionalmente para producir una única decisión colectiva. En los modelos más simples, como los referéndums binarios o las elecciones uninominales a una vuelta, se adopta la opción que supera el umbral de mayoría. Cuando existen más de dos alternativas, pueden emplearse sistemas mayoritarios simples (escoger una entre varias), o fórmulas proporcionales para distribuir representación según los votos recibidos (como los métodos de D'Hondt, Hare o Saint-Laguë).

Sin embargo, estos mecanismos presentan múltiples deficiencias cuando se desea capturar la riqueza de las preferencias individuales en contextos complejos. A menudo, los sistemas mayoritarios tienden a excluir opciones minoritarias, y los proporcionales, aunque más inclusivos, pueden distorsionar la voluntad colectiva según el diseño del sistema. Por ello, se han propuesto métodos alternativos de votación que permiten una expresión más matizada, como el voto aprobatorio (*approval vote*), en el que cada persona selecciona todas las opciones aceptables sin ordenarlas, o el voto preferencial, que permite ordenar las alternativas según el grado de preferencia, utilizando algoritmos como Borda, Dowdall o el voto único transferible (VUT) para determinar el resultado.

No obstante, el célebre teorema de imposibilidad de Arrow (1952) demostró que ningún sistema de votación puede cumplir simultáneamente ciertos principios básicos de equidad (criterios de mayoría, de Condorcet, monotonicidad e independencia de alternativas irrelevantes) cuando hay tres o más opciones. Esta imposibilidad teórica sugiere que toda técnica de agregación conlleva compromisos entre justicia, simplicidad y estabilidad.

Frente a estas limitaciones, se han desarrollado enfoques que permiten una expresión cuantitativa o multidimensional de las preferencias, como los sistemas de votación ponderada. En estos, los participantes pueden distribuir puntos entre opciones, calificarlas en escalas numéricas (p.ej., 0 a 10), o evaluar múltiples atributos de una misma propuesta (por ejemplo, su calidad, factibilidad o equidad). Este tipo de mecanismos es ampliamente utilizado en contextos digitales (valoraciones en redes sociales, *rankings* en plataformas audiovisuales), y se



Figura 2: Jerarquía de decisión colectiva

(Fuente: Elaboración propia)

beneficia de técnicas estadísticas que permiten corregir sesgos, identificar polarización o estimar valoraciones agregadas más robustas (e.g., mediante medias bayesianas ponderadas).

Sin embargo, aún con esas mejoras la elección se propone como algo unidireccional y en gran parte pasivo, es decir, entre opciones ya dadas y usualmente muy limitado en el tiempo.

En esta línea, se propone (Speroni, 2010) una crítica estructural a la democracia representativa tradicional: en un mundo de comunicaciones lentas y estructuras jerárquicas, el modelo de voto es adecuado, pero en un entorno global, digital y en red, donde la comunicación es rápida y multilateral ("muchos a muchos"), se abre la posibilidad de incorporar preguntas abiertas y propuestas generadas por los propios participantes. La capacidad expresiva del votante en estos nuevos escenarios es mucho mayor, y su "tasa de información" —medida en bits por segundo— supera con creces la de los sistemas de elección cerrada tradicionales, que resultan inefficientes en términos informativos si se comparan con interacciones digitales cotidianas como, por ejemplo, la declaración de impuestos o el consumo de contenidos en línea.

Este cambio de paradigma abre la puerta a nuevas formas de participación digital como la democracia líquida, donde el voto no solo se ejerce de forma puntual, sino que puede modificarse o delegarse de manera dinámica. Este enfoque permite combinar representatividad y participación directa, ajustando el grado de implicación ciudadana a las circunstancias y conocimientos de cada individuo. Del mismo modo, se cuestiona la máxima de "una persona, un voto" cuando el grado de afectación, el conocimiento o el mérito podrían justificar ponderaciones distintas. Todo ello comporta una suerte de escala de calidad y riqueza de las decisiones colectivas que va desde el simple voto binario al consenso y la inteligencia colectiva (figura 2).

En paralelo, surgen plataformas que permiten a los participantes proponer directamente soluciones o respuestas abiertas, más allá de simplemente elegir entre opciones predeterminadas. Estas propuestas pueden someterse a ciclos de evaluación, mejora, fusión o reformulación, generando dinámicas deliberativas estructuradas que se asemejan a procesos evolutivos o incluso a algoritmos genéticos, donde las propuestas "mutan" o se recombinan en busca de soluciones más consensuadas.

El concepto de voluntad general, introducido por Rousseau en el siglo XVIII, y hasta ahora difícil de implementar, podría hoy encontrar un tratamiento computacional gracias a las herramientas de análisis de datos, razonamiento automático y aprendizaje automático. Bajo esta visión, el consenso no es simplemente la mayoría, sino un óptimo social que maximiza simultáneamente múltiples criterios de valor colectivo.

Speroni (2011) propone para ello el uso del Frente de Pareto como marco para identificar soluciones dominantes en espacios de decisión multidimensionales. Hay que advertir que el consenso no significa unanimidad, es decir, que todos piensen igual sobre determinado asunto, ni gregarismo, ni uniformidad, ni autocensura. Más que en un resultado concreto, se centra en un enfoque y un proceso (figura 3).

En realidad, el objetivo de dicho proceso va más allá, hacia cierta unidad emotiva. Tampoco significa un proceso de negociación donde todos tienen que ceder para quedar en un descontento general y equidistante, ni una mayoría cualificada, por amplia que sea.

Cabe citar a aquí a Cicerón, que ya en el siglo recomienda distinguir entre lo que es un simple posicionamiento de la necesidad involucrada en el asunto a deliberar. En la misma línea, José Luis Montero de Burgos (1994), liga el poder de decisión al riesgo asociado a ella, y sugiere también la importancia del trabajo y del conocimiento involucrado en las decisiones.

Así, la base del consenso es un acto conjunto de cooperación, no una lucha de intereses o puntos de vista particulares. Al contrario, es deliberación, aporte, cooperación, pensamiento crítico y requiere de cierta flexibilidad y empatía para ver necesidades y puntos de vista propios y ajenos, que no significa que uno deba acatar o ceder sin comprender.

En suma, la evolución de los mecanismos de decisión colectiva, desde el voto binario hasta los modelos deliberativos multi-etapa (figura 2), encuentra hoy un terreno fértil en las tecnologías digitales. Estas permiten no solo recoger preferencias de forma más rápida y rica, sino también estructurar el debate, facilitar la deliberación constructiva y modelar soluciones algorítmicamente tratables que reflejen mejor el interés colectivo. Esta perspectiva fundamenta el desarrollo del sistema propuesto en este trabajo, que busca asistir, mediante inteligencia artificial, los procesos complejos de toma de decisiones colectivas.

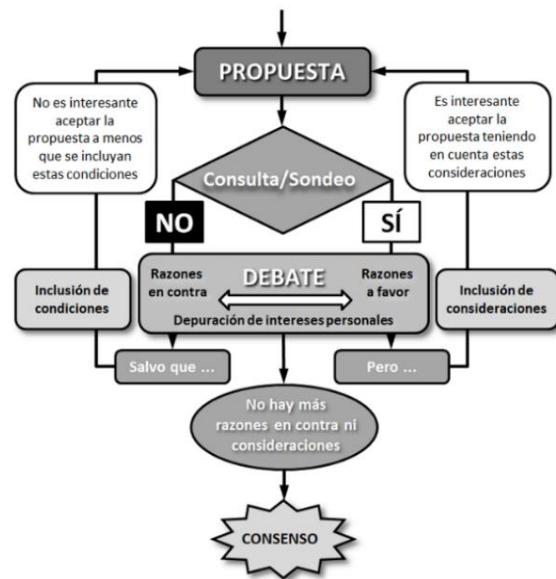


Figura 3. Esquema de un posible ciclo orientado al consenso
(Fuente: Elaboración propia)

2.1.3 Método Delphi

El método Delphi, desarrollado en RAND Corporation (Dalkey & Helmer, 1963), es una técnica de previsión e interacción entre expertos que se apoya en rondas sucesivas de consulta anónima con retroalimentación controlada con el objetivo de alcanzar un consenso. Se basa en la premisa de que las decisiones de un grupo de personas informadas (expertos), si están bien estructuradas, pueden ser más acertadas que las de un solo individuo o una discusión abierta y no controlada.

En cada ronda, los expertos reciben un resumen agregado de las respuestas anónimas del grupo para reconsiderar sus opiniones, lo que reduce el efecto de jerarquías o presión social. Entre sus ventajas se destacan la capacidad de recoger juicios bien informados y evitar el pensamiento grupal; sin embargo, también presenta limitaciones como la necesidad de una buena planificación metodológica, el riesgo de fatiga de los participantes si el proceso es largo, y la dependencia de una adecuada selección de expertos. (Figura 4).



Figura 4. Proceso deliberativo en el método Delphi (Fuente: elsevier.es)

Aunque tradicionalmente ha sido manual, diversas investigaciones han propuesto su automatización, al menos parcialmente, mediante algoritmos de síntesis semántica (Linstone, 2002), (Okoli & Pawlowski, 2004). En la actualidad, el método se ha adaptado a entornos digitales mediante plataformas de e-Delphi, lo que abre la posibilidad de aplicaciones con inteligencia artificial, vía *LLMs*, para analizar automáticamente respuestas cualitativas y detectar patrones de consenso –disenso de una manera más escalable. Algunas aplicaciones que se revisarán estudiarán más adelante en el estado del arte, en el apartado 2.2.1, como Mesydel y iWarsM'ap, usan explícitamente su propuesta de proceso.

2.1.4 Frente de Pareto y optimización multiobjetivo

El frente de Pareto, también conocido como óptimo de Pareto o frontera de Pareto, es un concepto fundamental en la optimización multi-objetivo, con aplicaciones crecientes y especialmente valiosas en contextos de toma de decisiones colectivas. Su origen se remonta a los trabajos del economista Vilfredo Pareto, quien en el siglo XIX formuló este principio en el contexto de la eficiencia económica. Posteriormente, su formalización matemática y extensión al campo de la optimización ha sido ampliamente desarrollada, especialmente en dominios como la ingeniería, la planificación urbana, la economía del bienestar y la inteligencia artificial (Deb, 2001).

Cuando se intenta optimizar simultáneamente dos o más objetivos que pueden estar en conflicto (por ejemplo: eficiencia vs. equidad, beneficio vs. sostenibilidad), no siempre existe una única solución que sea la “mejor” en todos los criterios. Por ejemplo, en procesos de deliberación colectiva, es frecuente que diferentes actores prioricen valores o intereses distintos, como eficiencia versus equidad, beneficio económico versus sostenibilidad ambiental, o innovación versus estabilidad normativa. En estos escenarios, no suele existir una única solución que sea la mejor en todos los aspectos.

En estos casos, se considera que una solución es óptima en el sentido de Pareto si no existe otra que mejore alguno de los objetivos sin empeorar al menos uno de los demás. El frente (o frontera) de Pareto es el conjunto de todas esas soluciones “no dominadas”, es decir, aquellas para las cuales no existe una alternativa claramente superior en todos los objetivos a la vez. Cada punto en el frente representa una solución de compromiso entre los distintos criterios. (Figura 5).

Integrar este enfoque en sistemas deliberativos facilita visualizar los compromisos implícitos en las decisiones grupales, y puede ser explotado por sistemas de IA para sugerir “zonas de compromiso” o acuerdos mutuamente aceptables. De las herramientas que se mencionarán más adelante, en el apartado 2.2.1, hay que destacar el uso de este acercamiento en ‘Vilfredo goes to Athens’.

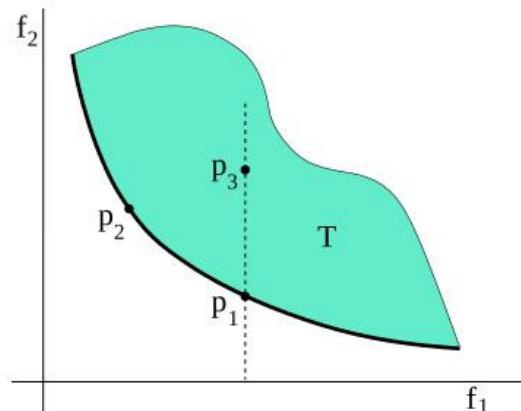


Figura 5. Esquema del Frente de Pareto
(Fuente: Wikipedia)

2.1.5 Introducción a una posible nueva álgebra de propuestas.

En lógica y matemáticas, un álgebra define un conjunto de elementos y operaciones regidas por leyes internas. Ejemplos clásicos son el álgebra de Boole, la lógica proposicional y la lógica de predicados, que han fundamentado la computación lógica y los sistemas de razonamiento automatizado.

Con el objetivo de dotar al marco conceptual de un instrumento robusto para la construcción y manipulación sistemática de las distintas posiciones y argumentaciones en un debate, se propone en este trabajo la utilidad de plantear un álgebra de propuestas, esto es, un sistema formal que permita representar, transformar y evaluar proposiciones expresadas en lenguaje natural. Este formalismo permitiría expresar de manera coherente y unificada las operaciones de combinación, refinamiento y comparación de argumentaciones deliberativas —y su grado de apoyo—, facilitando así el análisis y la evolución de los procesos de toma de decisiones.

En las secciones sucesivas se revisará, en el estado del arte, la existencia de formulaciones semejantes, y en el capítulo 3 se presentará una propuesta novedosa de este tipo de álgebra, detallando su fundamento teórico y su aplicación práctica.

2.1.6 Irrupción de la inteligencia artificial

La Inteligencia Artificial (IA) se define como el conjunto de técnicas y sistemas capaces de realizar tareas que, hasta hace poco, requerían inteligencia humana, tales como el razonamiento, el aprendizaje y la percepción.

Sus orígenes se remontan a mediados del siglo XX, cuando el matemático Alan Turing planteó el conocido "Test de Turing" en 1950 y, posteriormente, John McCarthy organizó la conferencia de Dartmouth en 1956, considerada el punto de partida oficial del campo.

Desde entonces, la IA ha atravesado varias etapas: la era simbólica o de IA clásica, centrada en sistemas basados en reglas; el declive en los períodos conocidos como "inviernos de la IA"; y el auge de los métodos estadísticos y del aprendizaje automático (*Machine Learning*) a partir de la década de 1990.

Más recientemente, desde 2017, el advenimiento de las redes neuronales profundas y la disponibilidad de grandes volúmenes de datos han impulsado una expansión sin precedentes, consolidando enfoques como el aprendizaje profundo (*Deep Learning*).

El ámbito de la IA comprende múltiples áreas, entre las que destacan (figura 6):

- Aprendizaje Automático (*Machine Learning*): desarrollo de algoritmos capaces de extraer patrones de datos. Se subdivide en:
 - Supervisado: entrenamiento con datos etiquetados para predecir resultados.
 - No supervisado: identificación de estructuras y agrupaciones en datos sin etiquetas.
 - Por refuerzo: a través de interacción con un entorno y maximización de recompensas.
- Aprendizaje Profundo (*Deep Learning*): rama del aprendizaje automático basada en redes neuronales profundas. Incluye arquitecturas como:
 - Redes Neuronales Convolucionales (*CNN*), usadas p.ej. en visión por computador.
 - Redes Neuronales Recurrentes (*RNN*) y *Transformers*, fundamentales en PLN.
- Visión por Computador: interpretación de imágenes y vídeo: confluyen técnicas de aprendizaje automático y *deep learning* para tareas de reconocimiento y segmentación.
- Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN): análisis y generación de lenguaje humano, apoyado en modelos estadísticos, redes neuronales y modelos de lenguaje a gran escala.
- Planificación y Razonamiento: generación secuencial de acciones para alcanzar objetivos, combinando técnicas simbólicas y probabilísticas.
- Robótica: integración de percepción, planificación y actuación en el mundo físico, haciendo uso de sensores, control y aprendizaje.

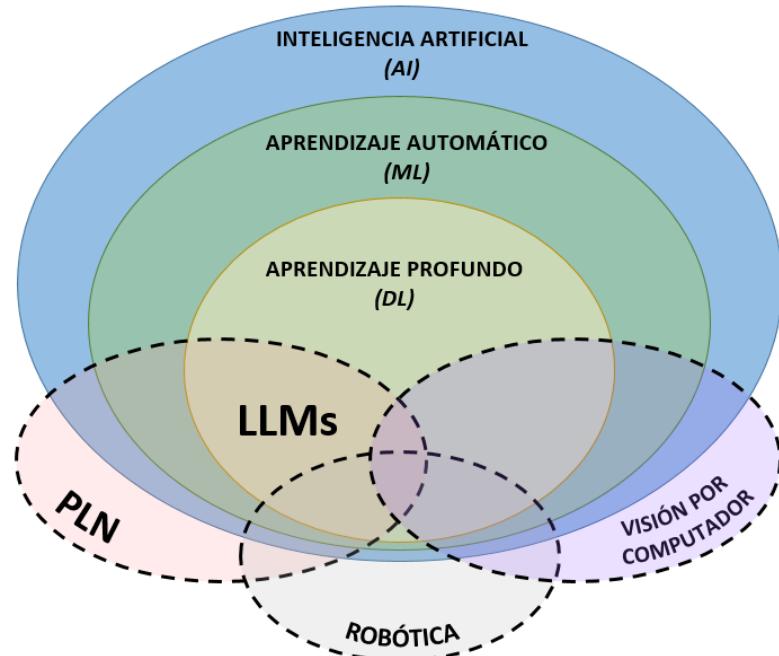


Figura 6. Áreas de la inteligencia artificial (Fuente: Elaboración propia)

El presente trabajo se encuadra en el área de PLN y, más concretamente, en la línea de los modelos de lenguaje a gran escala (*Large Language Models, LLMs*). El PLN estudia el procesamiento automático de textos mediante técnicas que van desde métodos basados en reglas y estadísticos hasta enfoques neuronales actuales.

Asimismo, este estudio considera también aspectos de planificación multi-objetivo, pues la generación y evaluación de propuestas en un debate deliberativo implica equilibrar criterios diversos y a veces contrapuestos.

2.1.7 Modelos de lenguaje de gran escala (*LLMs*)

Los *LLMs* son redes neuronales profundas entrenadas sobre grandes corpus textuales con el objetivo de modelar el lenguaje humano. Se basan principalmente en la arquitectura *Transformer* (Vaswani et al., 2017), que permite capturar dependencias contextuales en secuencias de texto de manera eficiente. Modelos como GPT-4 (OpenAI, 2023), PaLM (Google), (Chowdhery et al., 2022) o LLaMA (Meta AI) (Touvron et al., 2023) son ejemplos representativos, con cientos de miles de millones de parámetros, que incluyen la generación de texto coherente, la traducción automática, el resumen de documentos, la respuesta a preguntas y la clasificación de información textual.

En el último lustro, los *LLMs*, gracias a las mencionadas arquitecturas de redes neuronales de tipo *Transformer* han demostrado una capacidad extraordinaria para tareas como generación de texto, clasificación y diálogo, ampliando el paradigma del aprendizaje supervisado al aprendizaje por autoregresión masiva. El potencial de estos modelos para apoyar la estructuración del discurso colectivo es considerable. Su capacidad para procesar grandes volúmenes de información, identificar patrones discursivos y generar respuestas contextualmente relevantes los convierte en candidatos ideales para actuar como asistentes en entornos deliberativos complejos.

En el contexto de facilitación de decisiones colectivas, los *LLMs* pueden ser aplicados de diferentes maneras, dependiendo del grado de personalización, el acceso a datos específicos y las restricciones de coste computacional. Las tres estrategias principales que permiten adaptar un *LLM* a tareas concretas sin necesidad de entrenarlo desde cero son: el uso de *prompting*, la recuperación aumentada por generación (RAG) (Lewis et al., 2020) y el ajuste fino (*fine-tuning*).

El *prompting* consiste en diseñar cuidadosamente las instrucciones que se le dan al modelo para inducir un comportamiento deseado. Este enfoque aprovecha las capacidades del *LLM* preentrenado, sin modificar sus parámetros internos. Permite tareas como la síntesis de opiniones ciudadanas, la identificación de acuerdos/disensos, o la generación de resúmenes deliberativos con solo definir bien el formato de entrada. El *prompting* puede complementarse con plantillas estructuradas, ejemplos en contexto (*few-shot learning*), o cadenas de razonamiento explícitas (*chain-of-thought prompting*) para tareas más complejas.

La estrategia *RAG* va un poco más allá. Podría considerarse una técnica de *prompting* que incluye mecanismos de recuperación de información. Según la pregunta del usuario, el modelo accede dinámicamente a documentos externos, y vectoriza su información y genera un *prompt* interno con el contexto. (Figura 7).

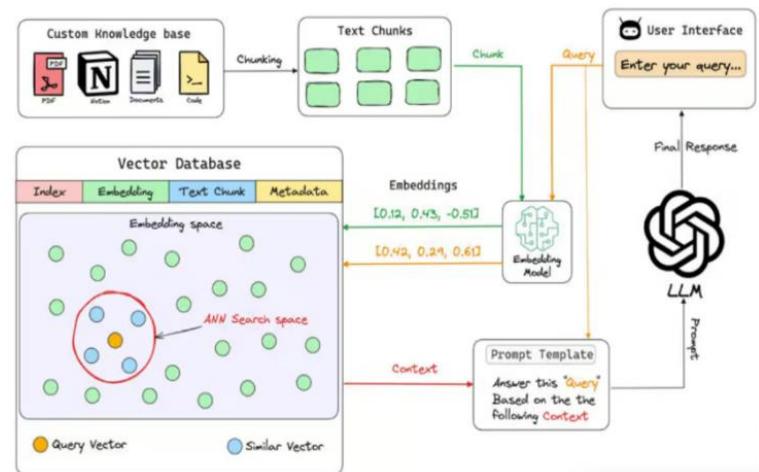


Figura 7. Esquema de funcionamiento de *RAG*

(Fuente: consultor365.com)

Cada una de las técnicas tiene ventajas y limitaciones. El *prompting* es inmediato y versátil, pero depende de la formulación de la entrada y *RAG* mejora la precisión contextual, pero introduce complejidad en la arquitectura del sistema. La elección entre estas estrategias debe considerar el equilibrio entre precisión, trazabilidad, coste y escalabilidad, en función de las necesidades de la plataforma deliberativa.

En resumen, los modelos de lenguaje de gran escala (*LLMs*) representan una herramienta poderosa para enriquecer los procesos de toma de decisiones colectivas. Su capacidad para estructurar información desorganizada, detectar patrones discursivos y facilitar síntesis argumentativas los convierte en aliados estratégicos para la inteligencia colectiva. El reto, sin embargo, reside en diseñar formas de integración que mantengan la transparencia, eviten los sesgos y respeten la autonomía deliberativa de los participantes humanos.

2.2 ESTADO DEL ARTE

2.2.1 Herramientas TIC de facilitación de inteligencia colectiva

Diversas plataformas han sido desarrolladas para canalizar la deliberación y la decisión colectivas. No se pretende aquí un estudio exhaustivo y tampoco se incluyen aplicaciones que desarrollan solo mejoras relacionadas con la teoría del voto o encuestas de respuestas a opciones cerradas, sino que se incluyen herramientas que incluyen respuestas a preguntas abiertas y procesos deliberativos. A continuación, se analizan las más representativas, prestando atención a su diseño, proceso deliberativo, alcance y aplicación o no de técnicas IA.

2.2.1.1 ThoughtExchange



ThoughtExchange es una plataforma de participación colectiva fundada en 2009, centrada en captar el pensamiento colectivo mediante dos funcionalidades principales: los intercambios (*Exchanges*) y las encuestas (*Surveys*). En los intercambios, los participantes responden a una pregunta abierta y se califica anónimamente y de forma aleatoria las ideas aportadas por otros. Las encuestas pueden combinar varios tipos de preguntas como elecciones entre una o varias opciones, escalas cuantitativas, preferenciales e incluso respuestas de texto abiertas.

ThoughtExchange se ha utilizado sobre todo en el entorno educativo y menos en negocios y gobierno, para facilitar la toma de decisiones colaborativas. Aunque inicialmente no incorporaba inteligencia artificial, desde 2023 ThoughtExchange ha integrado capacidades de IA generativa y análisis automatizado, incluyendo un asistente conversacional (integrado con OpenAI) que identifica temas emergentes y proporciona visiones estructuradas sobre los aportes recogidos, incluyendo puntos en común y en desacuerdo, y que pueden verse en sus paneles de resultados como gráficos, resúmenes, etc.

2.2.1.2 LiquidFeedback



LiquidFeedback es una plataforma de código abierto, de deliberación y toma de decisiones colectivas desarrollada en 2009 por el Public Software Group e.V. en Alemania. (Behrens et al., 2014). Sus funcionalidades permiten a los participantes proponer ideas, fase de discusión con posibilidad de enmiendas, valoración de estas, que el iniciador puede incluir o no, debatirlas públicamente y finalmente votar incluyendo la posibilidad de voto preferencial y también de delegación (líquidez) del voto en otra persona, por tema. Este sistema de delegación flexible permite que las decisiones reflejen de manera más precisa las preferencias colectivas, adap-

tándose a las competencias y conocimientos de los participantes. LiquidFeedback ha sido utilizada por diversos partidos políticos, organizaciones no gubernamentales y comunidades en línea para promover procesos de toma de decisiones más inclusivos y transparentes. A diferencia de otras más recientes, LiquidFeedback no incorpora técnicas de IA, apoyándose en mecanismos más formales, estructurados y transparentes como base de su legitimidad.

2.2.1.3 Mesydel



Mesydel (Multi-round E-Survey for DELphi) es una plataforma de consulta participativa en línea desarrollada en 2008 por la Universidad de Lieja (Bélgica). Basada en el método Delphi, estructura procesos de consulta en múltiples rondas anónimas. Los participantes (usualmente paneles de expertos) responden a preguntas abiertas y cerradas; luego, sus respuestas se analizan cualitativa y cuantitativamente y se realimentan al grupo para nuevas iteraciones.

Se ha usado en contextos como políticas públicas, evaluaciones participativas, investigación científica y construcción de consenso interdisciplinar. Actualmente, no incorpora técnicas de inteligencia artificial, aunque automatiza parcialmente las tareas logísticas y analíticas del proceso Delphi.

2.2.1.4 Loomio



Loomio es una plataforma de código abierto (AGPLv3) de toma de decisiones colaborativa desarrollada en 2011 en Nueva Zelanda por miembros del movimiento Occupy y Enspiral. Su objetivo es facilitar procesos deliberativos horizontales en organizaciones, colectivos y comunidades. (Jackson, 2016).

El funcionamiento de Loomio se basa en tres elementos clave: grupos, hilos de discusión y propuestas. Los participantes pueden iniciar debates, proponer acciones y votar utilizando opciones como "de acuerdo", "en desacuerdo", "abstención" o "bloqueo". El sistema permite modificar el voto durante la deliberación y visualizar gráficamente el consenso alcanzado. (Figura 8).

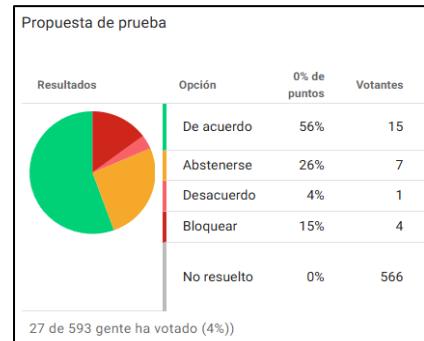


Figura 8. Votación de una propuesta en Loomio (Fuente: Loomio)

Propone varios tipos de decisión (consenso, consejo, consentimiento, votación simple) en los que se definen criterios, p.ej., de inexistencia de bloqueos, porcentaje mínimo de participación o de acuerdo, y tiempo mínimo de vida de la encuesta/votación. La plataforma ha sido utilizada por organizaciones como cooperativas, colectivos y empresas autogestionadas para

mejorar sus prácticas de gobernanza y fomentar una cultura de toma de decisiones más inclusiva y transparente. Tiene una escasa escalabilidad ya que se limita. No utiliza técnicas avanzadas de IA, aunque permite cierta integración con APIs externas. Su enfoque se centra en la transparencia y la trazabilidad y la participación estructurada sin automatismos algorítmicos.

2.2.1.5 Appgree



Appgree fue una plataforma de participación colectiva desarrollada en España y lanzada en 2013. Su objetivo principal era facilitar la expresión y priorización de ideas dentro de grandes grupos. Su funcionamiento se basa en un proceso en varias etapas: primero, los participantes responden a una pregunta abierta formulando sus propias propuestas; posteriormente, estas propuestas son sometidas a una evaluación anónima y aleatoria por parte de otros usuarios. Las mejores posicionadas vuelven a distribuirse para su evaluación por conjuntos aleatorios de participantes y así sucesivamente hasta escoger la respuesta más apoyada.

Aunque su enfoque es ágil y escalable, su capacidad deliberativa es limitada, pues no permite explorar en profundidad las razones detrás de las preferencias (Redondo, 2015). Appgree fue empleada en campañas de marketing, eventos en vivo y procesos participativos a gran escala, buscando facilitar la interacción y las opiniones mayoritarias en grandes grupos. A partir de 2014 incorporó agrupamiento automático con IA, pero hoy está inactiva.

2.2.1.6 iWarsM'aps / CiBUC



iWarsM'aps (Innovation Wars Mobile App) fue una herramienta desarrollada en España lanzada en 2014, como aplicación de mapeo de la argumentación. Su objetivo era facilitar a empresas e instituciones la detección colectiva de problemas y la generación de soluciones mediante preguntas abiertas, estructurando las aportaciones de los usuarios en torno a afirmaciones, razones, objeciones y contraargumentos, de forma similar al método Delphi. (Figura 9).

Su evolución, la plataforma CiBUC, introduce técnicas de proceso de lenguaje natural e IA en la deliberación colectiva. Tras hacer una pregunta abierta a un grupo de participantes, las respuestas anónimas son procesadas mediante varios algoritmos de clusterización e hibridación semántica, para posteriormente pasar estas respuestas sintéticas un proceso de votación. Esta combinación de PLN y heurísticas deliberativas permite detectar patrones emergentes,



Figura 9. Algoritmos de IA en CiBUC (Fuente: cibuc.com)
resuestas anónimas son procesadas mediante varios algoritmos de clusterización e hibridación semántica, para posteriormente pasar estas respuestas sintéticas un proceso de votación. Esta combinación de PLN y heurísticas deliberativas permite detectar patrones emergentes,

organizar el pensamiento colectivo y facilitar el consenso. Estas iniciativas fueron un caso pionero en aplicar argumentación estructurada + IA al ámbito público, aunque su impacto quedó limitado a proyectos locales y hoy en día ambas aplicaciones no están activas.

2.2.1.7 Vilfredo goes to Athens

VILFREDO GOES TO ATHENS

Vilfredo goes to Athens es un proyecto de *eDemocracy* orientado a facilitar la construcción de consensos en grupos pequeños, típicamente de 5 y 20 personas, que fue desarrollado por el Dr. Pietro Speroni di Fenizio hacia 2015. Vilfredo emplea explícitamente el concepto de Frente de Pareto en su algoritmo de deliberación colectiva. En cada ronda, las propuestas son evaluadas por los participantes, y aquellas que no son dominadas por otras forman el frente de Pareto (una propuesta A domina a una B si los votantes de B son un subconjunto de los votantes de A). Este conjunto de propuestas representa las opciones más aceptables y que reflejan fielmente la diversidad de opiniones dentro del colectivo. (Figura 10).

Además, el sistema realiza un análisis matemático de los votos para sugerir acciones específicas que podrían facilitar el logro de un consenso, como indicar quiénes deberían reconsiderar su voto en una propuesta particular, o entablar diálogo entre sí, o quiénes podrían reformular ciertas propuestas para hacerlas más inclusivas. Estas sugerencias buscan optimizar el proceso deliberativo, orientándolo hacia el consenso, aunque los participantes conservan plena autonomía para decidir.

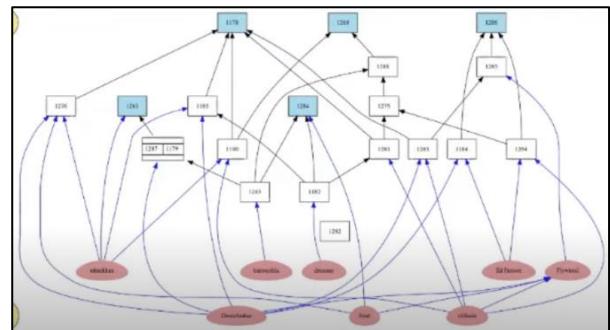


Figura 10. Jerarquía de dominación en Vilfredo
(Fuente: Vilfredo goes to Athens)

2.2.1.8 Polis



Pol.is es una plataforma *open source* de deliberación colectiva lanzada en 2012 por el Computational Democracy Project. Estructura el proceso deliberativo a partir de una pregunta abierta, a la que los participantes envían declaraciones breves y votan sobre las de otros indicando acuerdo, desacuerdo o neutralidad. A través de técnicas IA de aprendizaje automático y análisis estadístico, el sistema agrupa automáticamente a los usuarios en clústeres de opinión, identifica zonas de consenso y disenso. No hay votación final clásica.

Ha sido utilizada en varios países, destacando su implementación en vTaiwan, una iniciativa del gobierno taiwanés para la elaboración colaborativa de políticas públicas. Aunque no analiza

semánticamente el contenido (PLN), su enfoque estadístico permite gestionar eficazmente grandes volúmenes de participación. (Tang & Huang, 2020)

2.2.1.9 Decidim



Decidim es una plataforma digital de participación ciudadana de código abierto, desarrollada en 2016 por el Ayuntamiento de Barcelona y mantenida por una comunidad global. Permite configurar procesos participativos complejos como presupuestos participativos, consultas, normativas colaborativas y asambleas, mediante fases personalizables que incluyen propuestas, debates, votaciones y seguimiento. Los participantes pueden enviar propuestas, comentarlas y votar con distintos modos (limitado, ponderado, por coste), con trazabilidad y transparencia del proceso y auditoría de resultados. (Aragon et al., 2017). Aunque no incorpora IA, existen iniciativas para explorar su integración. Decidim está plenamente activa; ha sido usada por más de 400 instituciones públicas y organizaciones en todo el mundo.

2.2.1.10 Kialo



Kialo es una plataforma en línea lanzada en 2017 que facilita debates estructurados. El proceso deliberativo comienza con la formulación de una tesis central. Los participantes añaden argumentos "pro" o "contra", que a su vez pueden ser respaldados o refutados, creando un mapa detallado de la discusión. Cada nodo es votado por los usuarios en función de su relevancia.

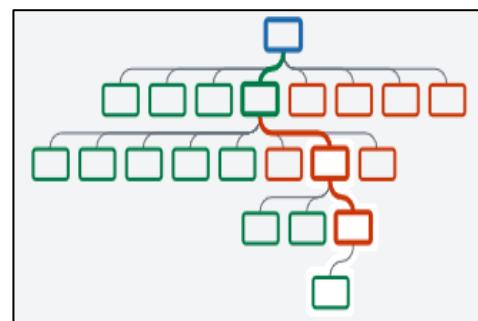


Figura 11. Jerarquía de argumentos a favor y en contra en Kialo (Fuente: Kialo)

Su principal fortaleza es el orden argumentativo que impone, ayudando a evitar redundancias y desviaciones (Kialo Technologies, 2021). Cada argumento puede ser comentado, evaluado y vinculado a evidencia externa, facilitando una comprensión profunda de temas complejos. Su formato visual, con mapas interactivos (figura 11), ayuda a los usuarios a entender cómo se relacionan diferentes ideas, promoviendo una comprensión más profunda de los temas discutidos.

Aunque Kialo no utiliza inteligencia artificial para analizar los contenidos, su estructura facilita el análisis por parte de los investigadores en áreas como el procesamiento del lenguaje natural y la minería de argumentos. Kialo se utiliza en contextos educativos, empresariales y gubernamentales, y cuenta con una versión específica para el ámbito educativo llamada Kialo Edu, que permite a profesores y estudiantes participar en debates privados y estructurados.

2.2.1.11 dlbrt



dlbrt (Deliberate) es una plataforma de deliberación colectiva desarrollada en 2023 por el Deliberative Democracy Lab de la Universidad de Stanford en colaboración con la empresa Novelcore. (Novelcore, 2023). De código propietario, la plataforma no utiliza inteligencia artificial para analizar el contenido de las discusiones, pero incorpora herramientas automatizadas para facilitar la moderación y garantizar una participación equitativa.

Ante una determinada temática o problema, va recogiendo aportes agrupados en tendencias sobre los que los participantes deliberan y que a su vez son comentadas y evaluadas como a favor/en contra/neutro. dlbrt parece centrarse principalmente en ofrecer una experiencia visual más rica que otras herramientas como Loomio (figura 12), pero sin demostrar claramente las capacidades de análisis automatizado. Ha sido usada en diversos contextos, incluyendo eventos nacionales de deliberación en países como Chile, Canadá y EEUU, y está diseñada para ser escalable.

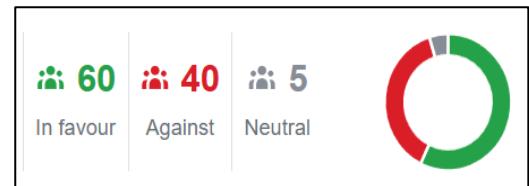


Figura 12. Votación de una tendencia en dlbrt (Fuente: dlbrt)

2.2.1.12 RESUMEN

En resumen, las herramientas TIC de facilitación de la inteligencia colectiva están evolucionando desde simples sistemas de votación hacia entornos complejos de deliberación estructurada, generación de propuestas y búsqueda de consenso asistido por IA. Desde modelos centrados en el orden argumentativo (Kialo, iWarsM'ap) hasta soluciones que incorporan procesamiento estadístico y aprendizaje automático (Polis), se evidencia una convergencia entre los principios de la democracia deliberativa y las posibilidades tecnológicas contemporáneas (figura 13/tabla 1).

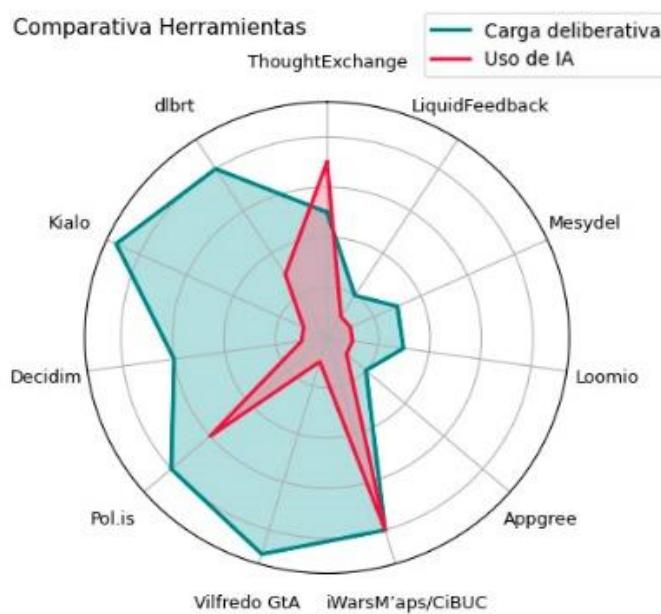


Figura 13. Gráfico radar de herramientas (Fuente: Elaboración propia)

nando desde simples sistemas de votación hacia entornos complejos de deliberación estructurada, generación de propuestas y búsqueda de consenso asistido por IA. Desde modelos centrados en el orden argumentativo (Kialo, iWarsM'ap) hasta soluciones que incorporan procesamiento estadístico y aprendizaje automático (Polis), se evidencia una convergencia entre los principios de la democracia deliberativa y las posibilidades tecnológicas contemporáneas (figura 13/tabla 1).

Tabla 1. Comparativa de herramientas deliberativas

Plataforma/Aplicación	Año	Open Source	Activa	Uso de IA	Algoritmo/Foco principal	Escalabilidad (participantes)	Carga de deliberación	Dominio principal / Observaciones
ThoughtExchange	2009	No	Sí	Sí (2023)	IA generativa + agrupamiento de ideas	Alta	Media	Educativo (K-12). Integrado con OpenAI (2023)
LiquidFeedback	2009	Sí	Sí	No	Votación preferencial, delegación, liquidez	Alta	Baja	Democracia líquida, trazabilidad completa
Mesydel	2008	No	Sí	No	Método Delphi digital, análisis cualitativo	Media	Baja	Académico, institucional, universidades
Loomio	2011	Sí	Sí	No	Consenso por discusión estructurada	Media	Baja	Colectivos, ONGs, diseño accesible, cooperativo
Appgree	2013	No	No	No	Valoración binaria (sí/no), ranking de ideas	Alta	Baja	Medios, campañas. Inspiración en ELO
iWarsM'aps / CIBUC	2014	No	No	Sí	Delphi + por fases: clusterización, enjambre	Media	Alta	Consultoría, innovación. IA supervisada
Vilfredo Goes to Athens	2015	Parcial	No	No	Comparación por pares + frente de Pareto	Media	Alta	Experimental / académico, Delphi sin votación
Pol.is	2015	Sí	Sí	Sí	Análisis PCA, clustering de opiniones	Alta	Alta	Gobierno, part. Ciudadana. Usado en vTaiwan
Decidim	2016	Sí	Sí	No (aún)	Modulos para procesos participativos	Alta	Media	Gobiernos locales, ONGs. Transparencia
Kialo	2017	No	Sí	No	Árbol argumental estructurado	Alta	Alta	Educación, debate online, trazabilidad argumental
dlbtr	2023	No	Sí	No	Deliberative Polling. Moderación automatizada	Alta	Alta	Grupos simultáneos con evaluación post-debate

2.2.2 Formulaciones previas de álgebras deliberativas

La formulación de una nueva álgebra de propuestas, desarrollada más adelante en este trabajo, busca establecer un marco computacional riguroso para representar, transformar y evaluar enunciados deliberativos en procesos colectivos. Aunque no se ha identificado en la literatura un formalismo exactamente equivalente, existen diversas aproximaciones conceptuales y técnicas que comparten objetivos parciales o componentes funcionales similares.

a) Sistemas formales de argumentación

La teoría de la argumentación abstracta, iniciada por Dung (1995), define marcos argumentativos en los que se establecen relaciones de ataque entre argumentos. Este enfoque ha sido extendido por autores como Modgil y Prakken (2013), quienes incorporan aspectos como la preferencia, la lógica dialógica y la justificación estructurada. Aunque estas propuestas se centran más en la validez lógica y dialéctica de argumentos que en su aceptación colectiva, ofrecen una base teórica relevante para el tratamiento estructurado de propuestas.

b) Lógicas de equipos y semánticas colectivas

Fan Yang y Jouko Väänänen (2016) introdujeron las *team semantics*, una extensión de la lógica proposicional y de primer orden que evalúa la verdad de las fórmulas sobre conjuntos de asignaciones (equipos) en lugar de puntos únicos. Este enfoque permite modelar dependencias, inclusiones y exclusiones que son esenciales en contextos de colaboración y deliberación. Aunque orientadas al análisis lógico más que a la participación social, estas lógicas son conceptualmente cercanas al tratamiento de relaciones entre propuestas que se plantea más adelante el presente trabajo.

c) Representaciones estructuradas en plataformas deliberativas

En herramientas ya mencionadas como Kialo, Vilfredo o CiBUC se han incorporado mecanismos para estructurar y relacionar argumentos o propuestas. Vilfredo, en particular, introduce el uso del Frente de Pareto sobre conjuntos de propuestas, y define relaciones de dominancia basadas en patrones de apoyo colectivo. Kialo organiza los debates en grafos argumentativos jerárquicos, pero sin aplicar una semántica algebraica explícita. En el caso de CiBUC, se exploran transformaciones automáticas de propuestas mediante PLN, lo que coincide parcialmente con las funciones del álgebra que aquí se planteará.

d) Modelos computacionales en negociación multiagente

En entornos de negociación automatizada y toma de decisiones distribuida, autores como Rahwan et al. (2003) han propuesto marcos formales para la representación de propuestas, concesiones y acuerdos. Estos modelos suelen estar enfocados en agentes autónomos artificiales y aplican lógicas modales o utilitaristas. La diferencia principal con el álgebra que se planteará en este trabajo es su orientación a la interacción humana, mediada por IA, y su énfasis en la evolución deliberativa de las propuestas y no solo en su eficiencia transaccional.

2.2.3 Integración emergente de IA y *LLMs* en procesos deliberativos

La aplicación de IA, el procesamiento del lenguaje natural (PLN) y el uso de modelos de lenguaje de gran escala (*LLMs*) en contextos deliberativos está en una etapa inicial, aunque emergen investigaciones y prototipos que muestran su potencial transformador en la estructuración del discurso colectivo. Diversos estudios recientes abordan este desafío desde enfoques complementarios, algunos centrados en la representación lingüística, otros en la automatización de tareas asociadas a la deliberación o la mediación argumentativa.

El trabajo de Dong y Herrera-Viedma (2020) constituye una referencia fundamental en este ámbito. Proponen un enfoque computacional lingüístico para apoyar procesos de consenso en la toma de decisiones grupales. Aunque no utilizan *LLMs* modernos como GPT, emplean representaciones lingüísticas difusas y técnicas de decisión multi-criterio que permiten modelar la incertidumbre y la vaguedad en contextos deliberativos.

Serrano et al. (2021) desarrollan técnicas de aprendizaje automático, incluyendo clustering y resumen automático, para mejorar plataformas de participación ciudadana. Si bien no integran *LLMs*, su trabajo sienta las bases para futuras incorporaciones de modelos más avanzados en la automatización de tareas deliberativas.

Zhang et al. (2023) exploran la co-creación de sistemas de IA responsables mediante la participación ciudadana. Esta contribución, de carácter más conceptual, tampoco se basa en la implementación directa de *LLMs*, más bien reflexiona críticamente sobre su rol potencial en la construcción de herramientas auditables, explicables y centradas en el usuario. Se destaca la importancia de diseñar sistemas deliberativos auditables y explicables, aspectos en los que los *LLMs* podrían desempeñar un papel crucial, pero con participación de los usuarios.

En América Latina, Negoc-IA, una herramienta chilena, incorpora un asistente virtual basado en modelos generativos de lenguaje para apoyar negociaciones colectivas, ofreciendo sugerencias y síntesis en tiempo real. Aunque no se especifica públicamente el modelo exacto empleado, se infiere el uso de un *LLM* de tipo GPT-3 o GPT-4, posiblemente accedido a través de una *API* comercial. Su implementación práctica demuestra la viabilidad de aplicar IA generativa en escenarios complejos de interacción estratégica y argumentación.

Prometea, desarrollado por la Fiscalía General en Buenos Aires, es un sistema de IA aplicado a tareas jurídico-deliberativas. Inicialmente basado en procesamiento de lenguaje natural (PLN) estructurado y técnicas de automatización incluyendo árboles de decisión, recientes implementaciones han incorporado el uso de IA generativa con ChatGPT para la redacción de resoluciones judiciales, evidenciando la transición hacia IA generativa en el ámbito legal.

El ejemplo más avanzado de integración efectiva de *LLMs* generativos en procesos deliberativos es el experimento desarrollado por Google DeepMind y la Universidad de Oxford, publicado en Science (Tessler et al., 2024). En este trabajo se presentó un sistema informalmente denominado “La Máquina de Habermas”, que facilitó la deliberación de más de 5.000 ciudadanos sobre temas controvertidos como la privatización del sistema de salud o la edad mínima para votar. El sistema utilizó un modelo comparable a GPT-4, entrenado y ajustado finamente para sintetizar declaraciones grupales a partir de opiniones individuales. Estas síntesis eran refinadas en ciclos iterativos con retroalimentación humana, y en evaluaciones a ciegas, los participantes prefirieron en un 56 % las declaraciones generadas por la IA frente a las humanas, valorando su claridad, imparcialidad y capacidad de integrar puntos de vista diversos. Esto constituye una demostración empírica de que los *LLMs* pueden actuar como mediadores deliberativos, ayudando a generar consensos amplios a partir de visiones plurales. (Tabla 2).

Tabla 2. Cuadro resumen de uso incipiente de IA en procesos deliberativos.

Trabajo / Proyecto	Año	Tipo de modelo o técnica IA empleada	Uso de LLMs	Integración deliberativa
Dong & Herrera-Viedma	2020	Representaciones lingüísticas difusas, MCDM	No	Medio (decisión)
Serrano et al.	2021	ML clásico y PLN para agrupamiento y resumen	No	Bajo-medio
Binns et al.	2023	Marco para IA deliberativa con co-diseño ciudadano	No	Alto (conceptual)
Stuhlmüller et al.	2024	LLM tipo GPT-4 con fine-tuning y retroalimentación humana	Sí	Muy alto
Negoc-IA	2024	LLM generativo (probablemente GPT-3 o GPT-4 vía API)	Sí	Alto
Prometea (vigente)	2018	PLN estructurado con reglas. Sin LLMs actualmente	No	Bajo

2.3 CONCLUSIONES

Los apartados anteriores han presentado una revisión del contexto en el que se inscribe el presente TFM, así como una revisión del estado del arte de las herramientas informáticas que han abordado los problemas de los procesos deliberativos.

Respecto a las 11 herramientas TIC revisadas en primer lugar, un patrón común en ellas es el intento de superar la lógica binaria o reduccionista del voto tradicional, permitiendo una representación más rica de las preferencias, así como una mejora en la calidad del diálogo. No obstante, muchas de estas herramientas aún adolecen de problemas de escalabilidad, interoperabilidad y autonomía semántica.

Algunas excepciones notables, como Polis, que integra procesamiento estadístico y aprendizaje automático han demostrado viabilidad en procesos participativos a gran escala, pero en general, pocas han integrado todavía capacidades avanzadas de razonamiento automático o PLN capaces de intervenir activamente en la síntesis de propuestas. Otros ejemplos como Kialo e iWarsM'ap, centrados en el orden argumentativo, reflejan una convergencia entre los principios de la democracia deliberativa y las posibilidades tecnológicas actuales.

Este panorama justifica la necesidad de explorar nuevos enfoques híbridos, como el que se plantea en este trabajo, que combinen la estructuración deliberativa con la capacidad analítica de los sistemas inteligentes, en busca de procesos colectivos más robustos, inclusivos y consensuales.

Las experiencias revisadas de otros ejemplos de integración emergente de la IA y los *LLMs* (tabla 2) evidencian una tendencia creciente hacia el diseño de sistemas híbridos donde la IA no reemplaza la deliberación humana, sino que la amplifica y estructura. Sin embargo, la integración de modelos de lenguaje en la facilitación de decisiones colectivas plantea desafíos en torno a la transparencia algorítmica, la trazabilidad del razonamiento, la mitigación de sesgos y la validación ética de las decisiones automatizadas.

Aun así, los avances recientes apuntan hacia un horizonte en el que la IA no sólo puede aumentar la eficiencia de los procesos deliberativos, sino también mejorar su inclusividad, calidad argumentativa y capacidad de síntesis colectiva, facilitando procesos deliberativos humanos, ampliando el alcance y la calidad de la participación democrática.

A pesar de la riqueza de estas herramientas, pocas integran operaciones sistemáticas de combinación, refinamiento y comparación de argumentaciones en un lenguaje algebraico coherente. Persisten los problemas de escalabilidad, interoperabilidad y autonomía semántica mencionados (es decir, la capacidad de interpretar conceptos, relaciones y matices de un discurso en ámbitos distintos sin requerir que un experto etique o modele previamente todos los términos y estructuras argumentales).

Así, respecto al uso de álgebras de propuestas que formalicen el discurso deliberativo, no ha sido hallada en la literatura revisada una formulación que combine e integre una semántica relacional basada en métricas sociales y semánticas, un conjunto de operaciones formales orientadas a la evolución consensual y la posibilidad de una aplicación práctica mediante PLN para hacer evolucionar el debate, por lo que la formulación expuesta más adelante en este trabajo puede considerarse una aportación metodológica original con potencial de aplicación y expansión futura.

En conclusión, en virtud de los vacíos y oportunidades detectados, el presente trabajo se orientará a establecer una sintaxis y reglas de composición que aseguren una semántica relacional robusta, incorporando módulos de generación asistida por *LLMs* con validación interna de consistencia e integrando funciones de optimización multi-objetivo capaces de ponderar criterios contrapuestos. Para ello se plantea la conveniencia de definir plantillas de *prompting* y esquemas *RAG* reutilizables, trazables y auditables.

3. OBJETIVOS CONCRETOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1 OBJETIVO GENERAL

De acuerdo a la finalidad inicial de este trabajo, el objetivo, tras la sistematización del estado del arte, es diseñar y desarrollar un prototipo de sistema deliberativo asistido por IA, que implemente un álgebra de propuestas, que integre generación automática de argumentaciones basadas en el uso de *LLMs*, balance multi-objetivo y recuperación aumentada de conocimiento, y evaluar su capacidad para estructurar y potenciar procesos de deliberación colectiva.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- O1: Sistematizar el estado del arte en facilitación deliberativa asistida por IA y PLN.
- O2: Proponer un álgebra de propuestas que permita su manipulación estructurada (fusión, oposición, reformulación, síntesis, etc.).
- O3: Seleccionar técnicas y modelos de PLN (*LLMs*) en español para representar computacionalmente argumentos en lenguaje natural.
- O4: Diseñar una arquitectura modular para el prototipo, integrando PLN, razonamiento automático y planificación y el uso de dicha álgebra.
- O5: Implementar el sistema como servicio WEB accesible integrado en una plataforma PHP/MySQL existente.
- O6: Evaluar el rendimiento del prototipo mediante simulaciones o estudios con participantes reales, valorando su eficacia en entornos deliberativos.

3.3 PLANTEAMIENTO DE UN NUEVO ÁLGEBRA DE PROPUESTAS

Tal y como se ha anunciado previamente, de acuerdo al objetivo O2, se introduce ahora la formulación de una nueva álgebra de propuestas: un sistema formal que permite representar, transformar y evaluar proposiciones expresadas en lenguaje natural. El que no se trate de una propuesta teórica ya existente justifica su introducción en este punto, antes de detallar el diseño y desarrollo del prototipo.

El álgebra que aquí se propone, parte de la idea de que los participantes no solo eligen entre opciones, sino que también las valoran, modifican y combinan según su aceptación y afinidad argumentativa. La información se organiza así de forma dinámica y evolutiva, orientada a la construcción de consensos.

Se presenta ahora una formalización algebraica del sistema deliberativo basado en propuestas, distinguiendo entre atributos derivados, operaciones estructurales y relaciones lógicas o semánticas. Este enfoque permite implementar funcionalidades computacionales consistentes en una plataforma de deliberación digital.

1. Conjunto fundamental

Sea \mathcal{P} el conjunto de todas las propuestas $\mathcal{P} = \{ P_1, P_2, \dots, P_n \}$ de un debate.

Cada propuesta $P_i \in \mathcal{P}$ es una tupla $P_i = \langle \text{contenido}_i, \text{valoraciones}_i \rangle$ donde:

- contenido_i es su representación textual o semántica.
- valoraciones_i de las personas involucradas en determinada decisión

2. Valoraciones de las propuestas

- APOYO: $P \rightarrow [0,1]$

Proporción de personas que apoyan una propuesta

- RECHAZO: $P \rightarrow [0,1]$

Proporción de personas que rechazan una propuesta

- NSNC: $P \rightarrow [0,1]$ (Atributo derivado)

Proporción de personas que no valoran una propuesta

Se asume que $\text{APOYO}(P_i) = 1 - \text{RECHAZO}(P_i) - \text{NSNC}(P_i)$

Estas funciones definen el **estado de aceptación colectiva** de una propuesta y, además, permiten medir su evolución a lo largo del proceso.

3. Operaciones unarias de evolución de las propuestas

- ENMIENDA+, $\delta+$: $P \rightarrow P'$ y ENMIENDA-, $\delta-$: $P \rightarrow P'$

Incorporación de matices, aclaraciones o extensiones (δ) que enriquecen la propuesta sin modificar su intención original (a partir de comentarios) a partir de valoraciones positivas (de apoyo, $\delta+$) o negativas (de rechazo, $\delta-$)

- GENERALIZAR: $P \rightarrow P'$ y SIMPLIFICAR: $P \rightarrow P'$

Formulación más inclusiva de una propuesta para abarcar más casos, (puede facilitar la convergencia argumentativa) o formulación más sintética de una propuesta, eliminando redundancias o complejidad sin cambiar su significado esencial. (Puede ser asistida por PLN).

En estas funciones se almacena la relación de precedencia (evolutiva) entre propuestas.

4. Operaciones binarias generadoras

- UNION: $P_A \times P_B \rightarrow P_C$ e INTERSECCION: $P_A \times P_B \rightarrow P_C$

Nuevas propuestas que incluyen todos los elementos esenciales de ambas (UNION) o solo sus elementos comunes (INTERSECCIÓN) (Asistidas por PLN. Se pueden plantear otras más delante como DIFERENCIA, TRIANGULO o CONSENSO e incluso generalizar algunas, admitiendo versiones n-narias de estas operaciones)

5. Relaciones métricas [0,1] (entre propuestas)

- COMPARTICION: $P_A \times P_B \rightarrow [0,1]$ (no commutativa)

Proporción de personas que apoyan ambas propuestas (P_A y P_B) respecto al total de quienes apoyan P_B . (medida direccional de afinidad de apoyo entre propuestas).

- CERCANIA: $P_A \times P_B \rightarrow [0,1]$ (commutativa)

Grado de similitud semántica o argumentativa, valorado por técnicas de PLN a partir del contenido. Si la cercanía es 1 o casi 1 se considera redundante (A validar).

6. Relaciones booleanas (predicados)

- DOMINANCIA: $P_A \times P_B \rightarrow \{T, F\}$ (no commutativa, transitiva)

Verdadera si todo aquel que apoya P_B también apoya P_A . Derivada de las métricas. Importante para aplicar en el frente de Pareto.

- INCLUSION: $P_A \times P_B \rightarrow \{T, F\}$ (no commutativa, transitiva)

Verdadera si el contenido de P_A incluye completamente a P_B . (Por PLN).

7. Resumen de atributos y métodos del álgebra de propuestas: (Tabla 3)

Tabla 3. Resumen de atributos y métodos de las propuestas.

TIPO (atributo/método)	Notación	Dominios	Descripción breve
Atributo semántico	CONTENIDO	$\mathcal{P} \rightarrow \Sigma^*$ (texto)	Texto o vector semántico de la propuesta
Atributo escalar	APOYO, RECHAZO, NSNC	$\mathcal{P} \rightarrow [0,1]$	Valoraciones agregadas de los participantes
Operación unaria	SIMPLIFICAR, GENERALIZAR	$\mathcal{P} \rightarrow \mathcal{P}$	Transformación sobre una sola propuesta
Operación binaria (simétrica)	UNION, INTERSECCION, ...	$\mathcal{P} \times \mathcal{P} \rightarrow \mathcal{P}$	Fusión o intersección de contenido
Operación binaria (asimétrica)	ENMIENDA+, ENMIENDA-	$\mathcal{P} \times v \rightarrow \mathcal{P}$	Modificación de una propuesta tras valoración
Relación métrica (simétrica)	CERCANIA, COMPARTICION	$\mathcal{P} \times \mathcal{P} \rightarrow [0,1]$	Nivel de similitud o valoración entre propuestas
Predicado booleano (sim.)	DOMINANCIA, INCLUSION, etc. (de valoraciones)	$\mathcal{P} \times \mathcal{P} \rightarrow \{T, F\}$	Relación estructural valorativa entre propuestas
Predicado booleano (asim.)	CORRESPONDENCIA	$\mathcal{P} \times t \rightarrow \{T, F\}$	Relación entre propuesta y tema/problema

NOTA: La falta de tildes en los nombres de operadores es intencional, en previsión de problemas operacionales.

3.4 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL PROTOTIPO

Una vez definidos los objetivos del proyecto, así como sus límites técnicos y funcionales, la metodología adoptada para el desarrollo se apoya en un enfoque iterativo e incremental, cercano al desarrollo ágil de software, con el uso de elementos de investigación aplicada en IA.

El diseño modular, la integración de componentes preexistentes y el enfoque orientado a API permiten escalar el sistema en fases sucesivas. Tras la revisión teórica y del estado del arte para contextualizar la problemática y fundamentar la arquitectura (O1) se avanzará hacia al diseño del prototipo (identificando requisitos) y a la definición formal de operaciones deliberativas mediante modelos algebraicos y conceptuales (O2). Tras ello, se implementarán los módulos incluyendo el motor semántico, las operaciones deliberativas y el cálculo de métricas (O3, O4, O6). Se integrará el sistema en plataforma web (O5) y su validación funcionalmente utilizando casos de uso representativos, análisis de resultados y observación del comportamiento del sistema (O6).

El prototipo se desarrolla bajo un enfoque ágil adaptado a investigación aplicada, que combina iteraciones cortas de desarrollo con ciclos de validación temprana de hipótesis. A diferencia del modelo en cascada, que requiere un desglose exhaustivo de requisitos iniciales, el paradigma ágil permite:

- Iteraciones breves (sprints de 1–2 semanas) en las que se planifican y entregan pequeñas mejoras (historias de usuario) sobre el sistema.
- Backlog dinámico: las funcionalidades y refinamientos se priorizan continuamente en función de los resultados de pruebas de usuario y análisis de rendimiento.
- Revisiones periódicas (demo y retrospectiva) que aseguran la alineación con los objetivos específicos y facilitan la incorporación de hallazgos de investigación.
- Integración continua y despliegue automático en un entorno de pruebas, garantizando calidad y velocidad de entrega.

Este enfoque ágil se complementa con prácticas de investigación de IA (inspiradas en CRISP-DM para la fase de diseño del motor semántico), de modo que cada iteración incluye: definición de hipótesis, configuración del experimento (*prompting* y *RAG*), análisis de resultados cuantitativos y cualitativos, y ajuste de parámetros. De esta forma, se asegura un ciclo de aprendizaje rápido y un alineamiento constante entre los avances teóricos y su implementación práctica.

CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) es un modelo iterativo de seis fases: comprensión del negocio, comprensión de los datos, preparación de los datos, modelado, evaluación y despliegue. Cada etapa define objetivos y actividades concretas —desde la traducción de necesidades en metas analíticas hasta la entrega operativa de un prototipo— y permite retroalimentar fases anteriores para ajustar enfoques y mejorar resultados de manera continua. Aunque CRISP-DM nació en el ámbito de la minería de datos, sus principios iterativos y modulares lo hacen muy útil en proyectos de IA basados en modelos de lenguaje.

4. IDENTIFICACIÓN DE REQUISITOS

4.1 DELIMITACIÓN DEL ALCANCE, ROLES Y CASOS DE USO

El sistema propuesto, un prototipo de asistente de lenguaje orientado hacia la inteligencia colectiva y el consenso, debe cumplir una serie de requisitos orientados a garantizar su utilidad, viabilidad y adecuación al contexto deliberativo. Aquí se detallan: la delimitación del alcance, los casos de uso, los requisitos funcionales detallados por usuario, así como algunas líneas trazadoras para la definición de clases.

4.1.1 Delimitación del alcance

Del espectro de 9 niveles de lo que se conoce como madurez tecnológica (Salazar, 2023) sobre (Mankins, 1995) el presente TFM quedaría en el Nivel 4 (tabla 4).

Tabla 4. Niveles de madurez tecnológica

Nivel TRL	Entorno	Resumen
TRL 1	Laboratorio	Observación de principios básicos; arranque de la investigación fundamental.
TRL 2	Laboratorio	Definición del concepto; validación inicial (prueba de concepto).
TRL 3	Laboratorio	Ensayos analíticos y de prueba de concepto a escala de laboratorio; datos cuantitativos.
TRL 4	Simulación	Integración de componentes en prototipo de banco de pruebas; ventajas medibles.
TRL 5	Simulación	Prototipo validado en entorno simulado real; mejora de modelos técnico-económicos.
TRL 6	Real	Prototipo piloto pasa pruebas bajo condiciones reales (por ejemplo, nivel industrial).
TRL 7	Real	Sistema cerca de escala precomercial; evaluación de fabricación, ciclo de vida y costes.
TRL 8	Real	Sistema final probado en condiciones definitivas; riesgos de transferencia minimizados.
TRL 9	Comercial	Tecnología en producción y venta masiva; validada por el usuario final.

Así, la aplicación se sitúa en una fase de prototipado funcional con validación exploratoria, limitada por los siguientes criterios técnicos y operativos:

- ❖ Se abordarán escenarios deliberativos en lenguaje natural escrito en español, limitando inicialmente la cobertura lingüística a este idioma.
- ❖ El sistema trabajará sobre textos breves o medios (propuestas, comentarios, argumentos individuales de unas 300 palabras como máximo), sin analizar diálogos complejos ni conversaciones extensas.

- ❖ No se contempla el entrenamiento desde cero de modelos de lenguaje de gran escala, sino el uso de modelos preentrenados y su posible adaptación por transferencia (preferentemente *RAG* y *prompt engineering*).
- ❖ La validación del sistema se realizará mediante simulaciones o experimentos controlados con grupos pequeños, no en entornos abiertos ni a gran escala.
- ❖ No se incluyen en esta etapa funcionalidades de visualización avanzada de debates, ni otros requisitos no funcionales, aunque sin perjuicio de lo anterior, sea deseable una mínima usabilidad, confiabilidad y rendimiento, cuyas futuras mejoras se dejarán previstas.

4.1.2 Roles

Antes de detallar los requisitos (tabla 4) es importante especificar previamente los distintos roles que pueden darse en la aplicación. Un rol importante es el del **facilitador**, quien crea y configura el debate, plantea la pregunta abierta y puede facilitar la confluencia, el agrupamiento o *clustering* e hibridación de propuestas de manera manual o automática (asistida por IA). Las personas que participan del debate, serán los **participantes**, que pueden en varios puntos del proceso proponer, enmendar, matizar y valorar cualquier propuesta.

4.1.3 Diagrama general de casos de uso

El facilitador crea los debates, los facilita con apoyo IA y los cierra mientras que el participante podrá crear, avanzar (enmiendas) y valorar y comentar las propuestas. (Figura 14).

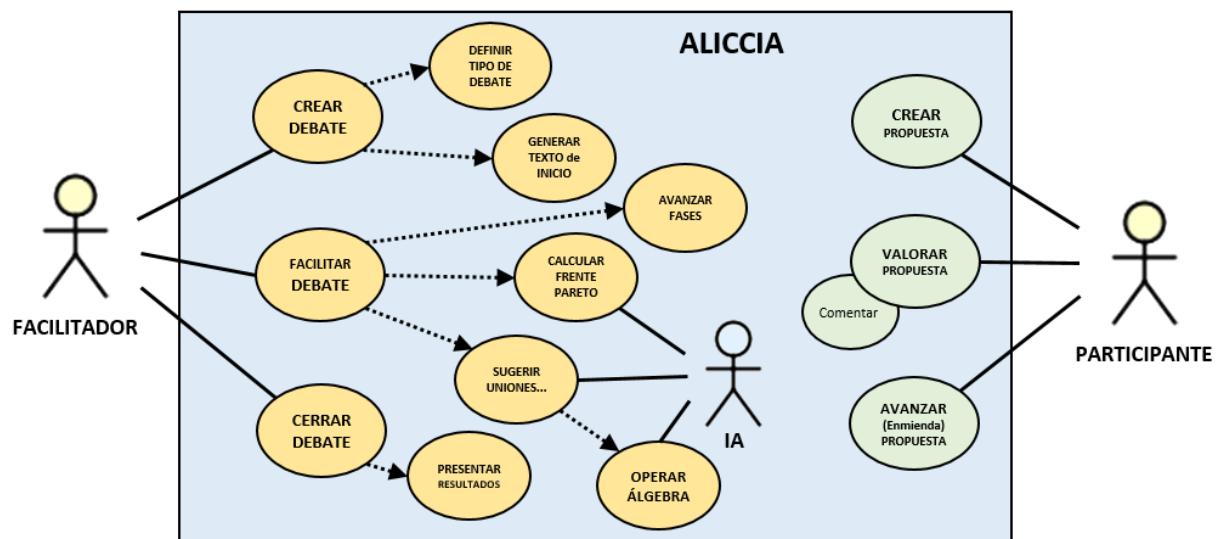


Figura 14. Casos de uso de la aplicación (Fuente: Elaboración propia)

4.2 REQUISITOS

4.2.1 Requisitos funcionales:

Tabla 5. Requisitos funcionales de la aplicación

COD	ROL	REQUISITO FUNCIONAL – FUNCIÓN A REALIZAR
FF1	Facilitador	Crear un nuevo debate.
FF2	Facilitador	Parametrizar un nuevo debate: (nº de ciclos, anonimidad, tipo de flujo, usuarios, etc.)
FF3	Facilitador	Fijar el tema/problema del nuevo debate (En lenguaje natural).
FF4	Facilitador	Modular un debate gestionando sus fases.
FF5	Facilitador	Fusionar, reformular, hibridar y cerrar propuestas manualmente o con apoyo IA. (→FS2)
FF6	Facilitador	Lanzar el análisis del debate y el cálculo automático del frente de Pareto (→FS3)
FF7	Facilitador	Cerrar el debate y publicar los resultados.
FP1	Participante	En debate abierto, ver su tema/problema y crear una nueva propuesta allí.
FP2	Participante	En debate abierto, ver propuestas y enmiendas, valorarlas (Apoyo/Rechazo/Neutro) y aportar comentarios como aclaraciones o sugerencias en cada una de ellas.
FP3	Participante	En debate abierto, ver sus propuestas y crear enmiendas positivas (+) o negativas(-).
FS1	Sistema/IA	Analizar semánticamente propuestas (<i>tokenización, similitud, etc.</i>) del debate abierto.
FS2	Sistema/IA	Aplicar operaciones algebraicas entre sus propuestas (unión, intersección, cercanía, ...)
FS3	Sistema/IA	Analizar el debate abierto, calcular sus métricas, calcular el frente de Pareto y sugerir uniones o avances en algunas propuestas.
FS4	Sistema	Presentar adecuadamente el estado actual de un debate abierto.
FS5	Sistema	Mantener un histórico de los debates y sus propuestas.
FS6	Sistema	Facilitar la evaluación de un debate cerrado.

4.2.2 Clases principales y esquema relacional

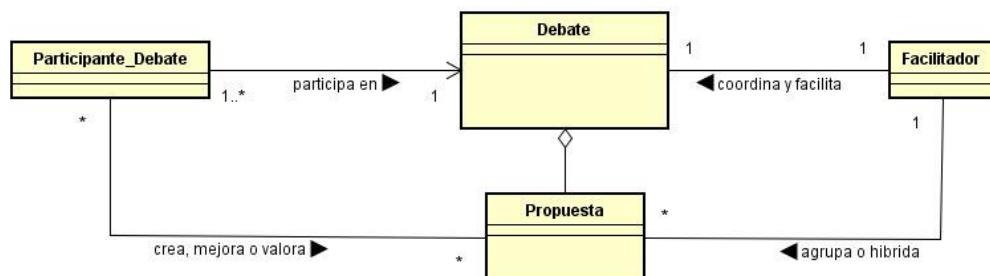


Figura 15. Diagrama de las principales clases (Fuente: Elaboración propia)

Para el posterior diseño relacional basado en las principales funcionalidades, se parte de las mínimas clases principales que deben recoger los atributos y métodos necesarios para llevar a cabo dichas funcionalidades (figura 15): Facilitador, Participante, Debate y Propuesta y que más adelante deberán ser ampliadas en un diseño relacional completo.

Podemos expresar las relaciones entidad-interrelación (figura 16) de esta manera: Los debates estarán integrados por una serie de propuestas (1:N). Los usuarios facilitadores crean y facilitan los debates (1:N). Los usuarios participantes participan de los debates (N:M) y crean, mejoran y valoran las propuestas (1:N). Las propuestas tienen valoraciones de apoyo/rechazo (1:N) hechas por los participantes (1:N) y además tienen una relación unaria de precedencia entre ellas mismas (1:N).

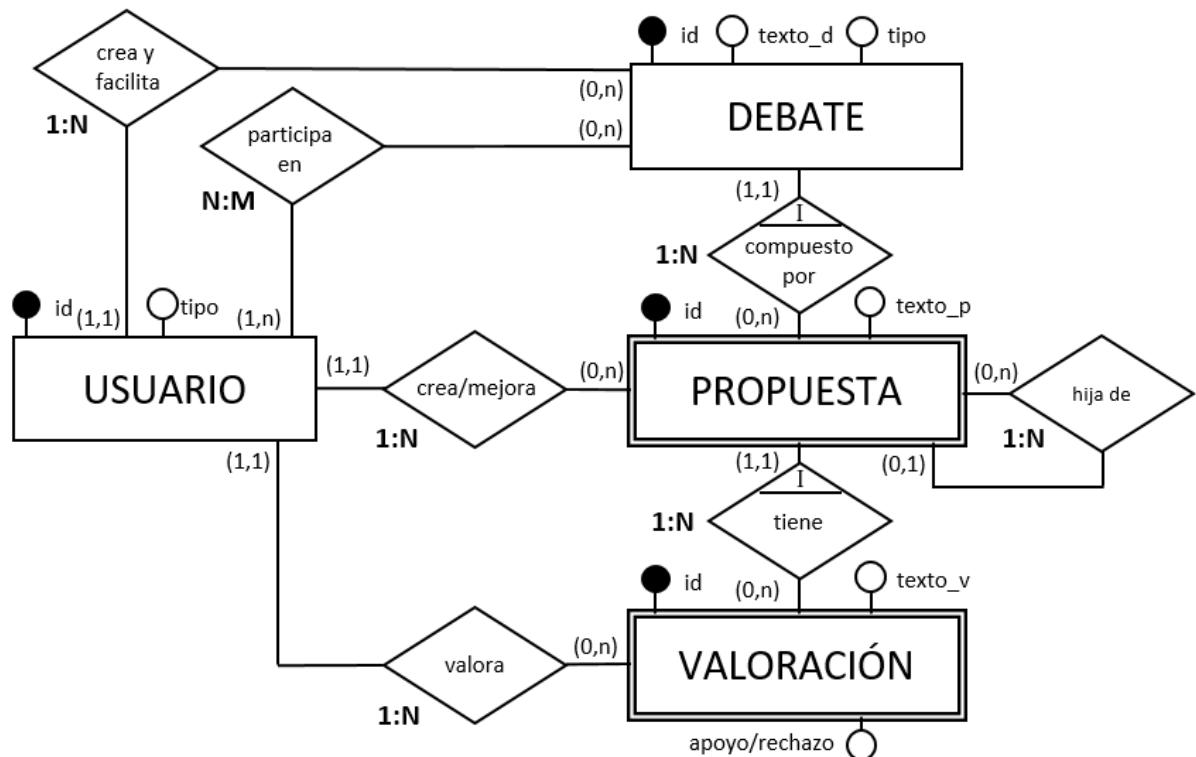


Figura 16. Modelo Entidad-Relación (Fuente:Elaboración Propia)

4.2.3 Desarrollo mínimo del álgebra en relación a los casos de uso

El álgebra de propuestas se aplicaría sobre un ciclo de deliberación en fases:

1. **Recogida inicial:** Lluvia de ideas/propuestas abierta maximizando la diversidad.
2. **Expansión del espectro:** Se fomenta explícitamente la formulación de propuestas diferentes o complementarias.
3. **Valoración inicial:** Los participantes fijan su apoyo, rechazo o abstención a ellas.
4. **Medición de relaciones:** Se miden compartición, cercanía y dominancia entre ellas.
5. **Transformaciones de propuestas:** Enmiendas, fusiones, intersecciones y simplificaciones orientadas a mejorar el consenso.
6. **Validación por apoyo aumentado:** Solo se aceptan transformaciones que aumentan o mantienen el nivel de apoyo de alguna de las propuestas originales.

Funciones tipo

A modo de interfaz funcional, el álgebra admite operaciones que pueden integrarse fácilmente en un sistema deliberativo digital:

- proponer (texto) → P_i
- valorar (P_i , apoyo, rechazo) → actualización de métricas
- enmendar (P_i , tipo, modificación) → P'_i
- comparar (P_i, P_j) → {compartición, cercanía, dominancia, etc.}
- fusionar (P_i, P_j) → $P_k = \text{UNION}(P_i, P_j)$
- intersecar (P_i, P_j) → $P_k = \text{INTERSECCION}(P_i, P_j)$

Estas operaciones pueden vincularse con interfaces interactivas, con algoritmos de facilitación inteligente, o con módulos de visualización argumentativa.

Possible representación algebraica como red

Dado que muchas de estas operaciones definen relaciones binarias, puede formalizarse un grafo dirigido de propuestas en el que:

- Nodos = propuestas
- Aristas etiquetadas = relaciones como INCLUSION, DOMINANCIA, CONTRADICCION
- Pesos = CERCANIA, COMPARTICION

Esto permitiría incluso aplicar un análisis de redes (centralidad, clústeres, caminos lógicos) sobre el espacio deliberativo.

4.2.4 Requisitos tecnológicos

Para satisfacer los requisitos, se han adoptado las siguientes decisiones tecnológicas:

- ❖ Lenguaje principal para el *backend* y soporte IA: Python 3.8, por su ecosistema maduro en PLN y ciencia de datos con las siguientes librerías principales:
 - SpaCy para análisis semántico (PLN).
 - NetworkX para representación de relaciones deliberativas como grafos.
 - Modelos de lenguaje (*LLM*): uso de API de OpenAI para uso con *prompting* avanzado, asistentes dedicados, y *RAG*. Uso de la librería langChain
- ❖ Persistencia de datos: MySQL para almacenamiento de propuestas, métricas y relaciones deliberativas.
- ❖ Interoperabilidad: compatibilidad con una plataforma web existente en PHP/MySQL mediante llamadas API-REST.

5. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA DESARROLLADA

5.1 ARQUITECTURA GENERAL DEL PROTOTIPO

5.1.1 Visión general modular

Capa de presentación (*Frontend*): accesible vía navegador web, basada en una plataforma existente desarrollada en HTML, CSS, PHP y JavaScript. En ella, los facilitadores pueden crear y supervisar debates, mientras que los participantes interactúan proponiendo ideas y valorándolas. El *frontend* envía solicitudes al *backend* deliberativo a través de una API REST.

Base de datos (MySQL): para persistencia de la información estructurada del sistema: usuarios, roles, debates, propuestas, valoraciones, relaciones entre ellas y métricas derivadas.

Capa de integración (API REST): permite la comunicación entre la interfaz web y el *backend* deliberativo. Expone los servicios principales del sistema: gestión de debates, registro y transformación de propuestas, evaluación de métricas y cálculo de consensos.

Capa de Backend deliberativo (Python): núcleo funcional del sistema en cuanto a IA: Implementa el álgebra de propuestas (algunos operadores mediante llamadas al *LLM*). Hace cálculo del frente de Pareto y planificación multi-objetivo para recomendaciones deliberativas.

Modelo *LLM* (preentrenado): accedido desde Python por *API* de OpenAI: Implementa prompting avanzado y *RAG*. Se invoca para análisis semántico de propuestas fundamentalmente para algunas operaciones del álgebra de propuestas (unión intersección, cercanía, etc.).

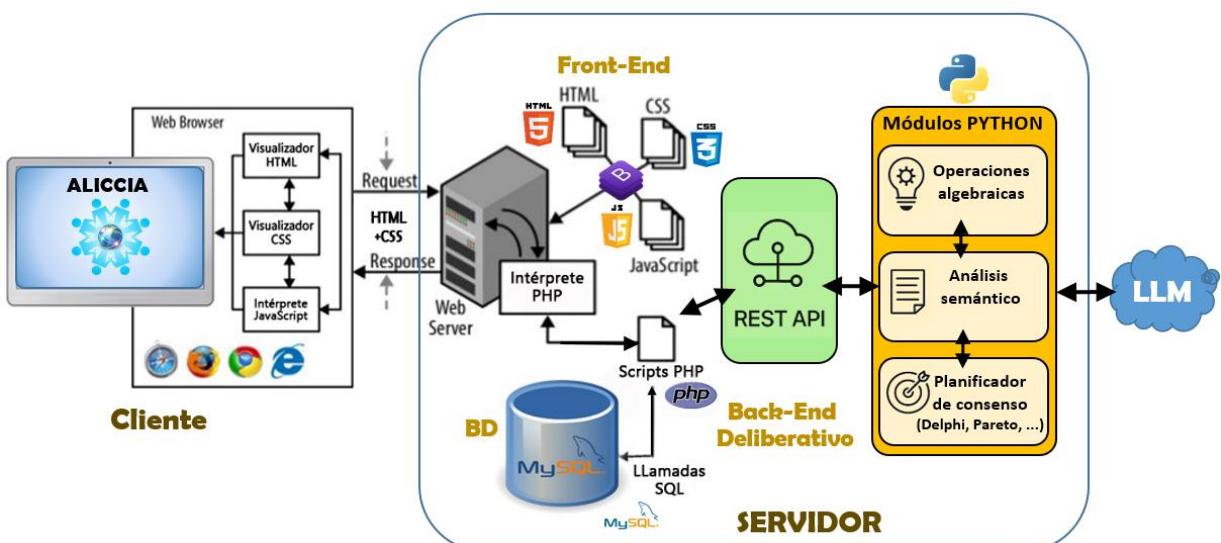


Figura 17. Diagrama de bloques esquemático del prototipo (Fuente: Elaboración propia)

Con esta arquitectura (figura 17), cada capa tiene su responsabilidad clara. El sistema es modular y escalable. Permite sustituciones (por ejemplo, cambiar el modelo *LLM*, o pasar a un *frontend* en JS moderno, cambiar el sistema gestor de BD, etc.).

5.1.2 Justificación arquitectónica

Esta arquitectura ha sido diseñada para garantizar:

- Modularidad: cada módulo se puede desarrollar, evaluar y evolucionar por separado.
- Interoperabilidad: gracias a la API REST, el *backend* deliberativo puede integrarse fácilmente con plataformas externas o móviles.
- Escalabilidad: el *backend* se puede desplegar como microservicio en contenedores.
- Separación de responsabilidades: la lógica deliberativa está desacoplada del entorno de presentación, lo que facilita su reusabilidad en otros contextos.

5.2 INTEGRACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA Y DETALLE DE CADA CAPA

5.2.1 Hardware y aspectos generales

El desarrollo el prototipo finalmente se ha realizado en un VPS de gestión propia con las siguientes características:

- CPU AMD EPYC-Milan Processor (1 core(s))
- 2 GB RAM
- 50 GB HDD
- SO CentOS Linux 7.9.2009 (Core)
- Versión Plesk Obsidian v18.0.69_build1800250502.08 os_CentOS 7

Respecto al software se han usado estos recursos en el servidor:

- PHP 8.2 (curl habilitada)
- Python 3.8 (librerías: python-dotenv, openai (1.28) y otras)

No obstante, y de cara a implementar el sistema en otro servidor, los requisitos mínimos pueden ser incluso, bastante menores en disco (<500MB) y memoria (<1GB) ya que el servidor se comparte con otros tantos dominios, calculado para unos datos de transferencia de unos 500 MB de datos al mes.

5.2.2 Interfaz WEB y Backend PHP

En la figura 18 pueden verse los principales ficheros php que soportan la portada, el *login* de usuarios autenticados (administradores, facilitadores, participantes en grupos), el acceso a la base de datos y el acceso y gestión de los debates deliberativos.

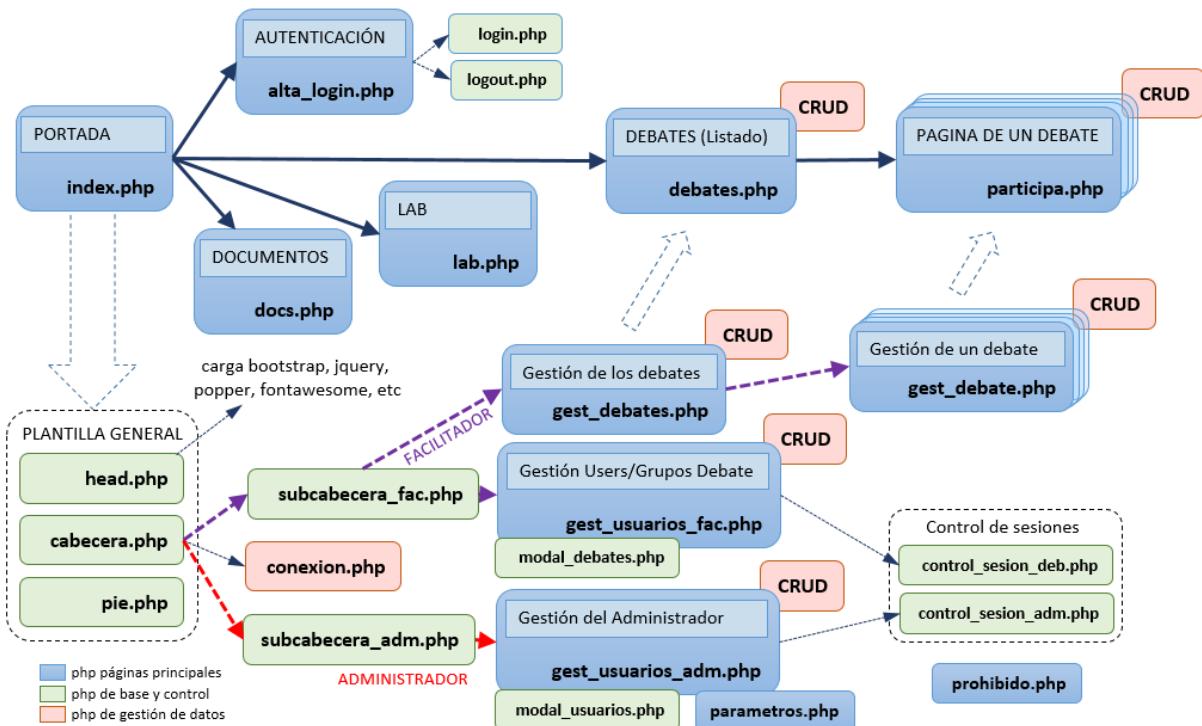


Figura 18. Estructuración de los ficheros php (Fuente: Elaboración propia)

Como puede verse en la tabla 6 estos php se integran a su vez, sobre todo para la gestión CRUD (*create, read, update, delete*) de los datos de la base de datos (usuarios, debates, propuestas, valoraciones) usando funciones javascript incluidos a su vez en otros tantos ficheros:

Tabla 6. Relación de ficheros php y javascript

Rol	Página principal php	Fichero Javascript	php de gestión de datos
ADMINISTRADOR	gest_usuarios_adm.php	script_usuarios.js	insertarUsuario.php listarUsuarios.php leerUsuario.php validarUsuario.php actualizarUsuario.php borrarUsuario.php

Rol	Página principal php	Fichero Javascript	php de gestión de datos
FACILITADORES	gest_usuarios_fac.php	script_usuarios_gd.js	insertarGD.php
			insertarUsuarioGD.php
			listarGDs.php
			listarUsuariosGD.php
			borrarGD.php
			borrarUsuarioGD.php
	gest_debates.php	script_debates.js	insertarDebate.php
			listarDebates.php
			leerDebate.php
			actualizarDebate.php
PARTICIPANTES	gest_debate.php	script_debate.js	borrarDebate.php
			cambiarEstadoDebate.php
			cambiarEstadoFaseDebate.php
			cambiarTipoDebate.php
			cambiarGenDebate+.php
			cambiarGenDebate-.php
			insertarParticipacionFac.php
	debates.php	script_debatesU.js	listarDebatesA.php
			listarDebatesR.php
			leerDebateU.php
			leerDesarrolloU.php
	participa.php	script_deb_particip.js	listarPropuestas.php
			leerPropuesta.php
			evolucionarPropuesta.php
			insertarValoracion.php
			listarValoraciones.php

5.2.3 Base de datos MySQL

En este modelo la tabla principal es T_DEBATES en la que se documentan los datos generales de cada debate; nombre, resumen, imagen de cabecera, estado, el usuario facilitador que lo crea y su grupo de debate. Cada debate tiene también su texto seminal o pregunta inicial al que responden con propuestas los usuarios participantes. Estas se documentan en T_PROPUESTAS y pertenecen a una determinada generación relacionándose entre ellas mismas en una relación de paternidad. Cada propuesta tiene sus valoraciones en T_VALORACIONES. En esta tabla también se recogen los comentarios cortos hechos a las propuestas. Excepto en debates abiertos, en cada debate pueden participar solamente los participantes registrado en el grupo de debate creado para la ocasión o existente previamente según T_USUARIOS_GRUPOS_DEBATE y la tabla de los grupos T_GRUPOS_DEBATE. Para tipificar usuarios y debates se añaden las tablas tipológicas necesarias T_TIPOS_USUARIO y T_TIPOS_DEBATE. Todas estas tablas, sus campos y relaciones se muestran en la figura 19.

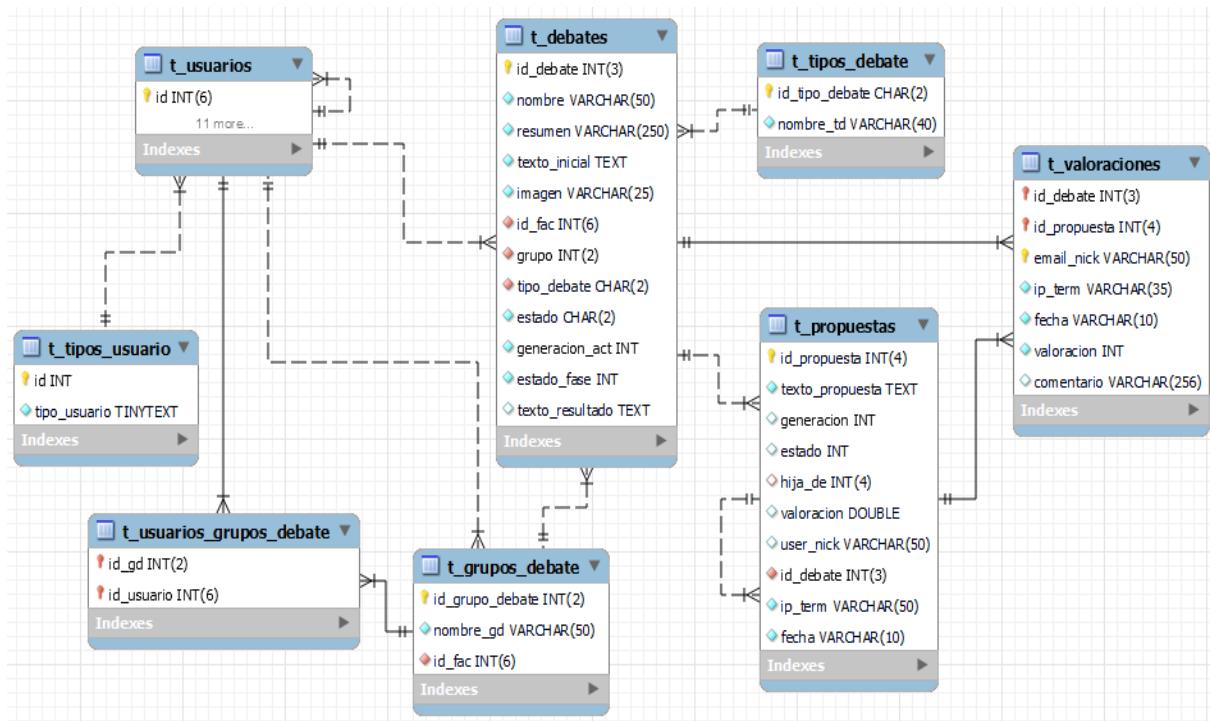


Figura 19. Modelo relacional de la base de datos (Fuente: Elaboración propia)

5.2.4 Integración con *backend Python*

API REST (FastAPI): Es el punto de conexión entre el cliente PHP y los módulos de inteligencia deliberativa en Python. Expone *endpoints* estructurados, por ejemplo: POST /analisis_semantico, POST /transformar_propuesta, GET /calculo_pareto, etc.

Endpoints principales de la API php ↔ python

(Esta lista describe los puntos de entrada al servicio deliberativo implementado en Python mediante API REST. Todos los *endpoints* aceptan y devuelven datos en formato JSON.

- [backend.py](#): recibe por JSON las peticiones de los php y las modula y distribuye a los siguientes ficheros:
- [algebra.py](#): se encarga de efectuar las operaciones algebraicas (unión, enmienda, etc.) haciendo uso, de momento, de la *API* de OpenAI, generando los resultados.
- [pareto.py](#): devuelve el conjunto de propuestas no dominadas según el apoyo.
- [planificador.py](#): sugiere, a partir de datos de Pareto y cercanía, una posible ruta hacia el consenso usando un planificador “greedy”

5.3 DISEÑO DEL FLUJO DELIBERATIVO

5.3.1 Visión general

El sistema propuesto se estructura en torno a un **flujo deliberativo multietapa**, orientado a facilitar la evolución de propuestas abiertas hacia consensos progresivos, apoyándose en un modelo de interacción humano-asistido por IA. Este flujo está diseñado para maximizar la diversidad de aportes iniciales, estructurar relaciones y facilitar transformaciones que permitan superar puntos de bloqueo, identificar zonas de convergencia y fomentar acuerdos.

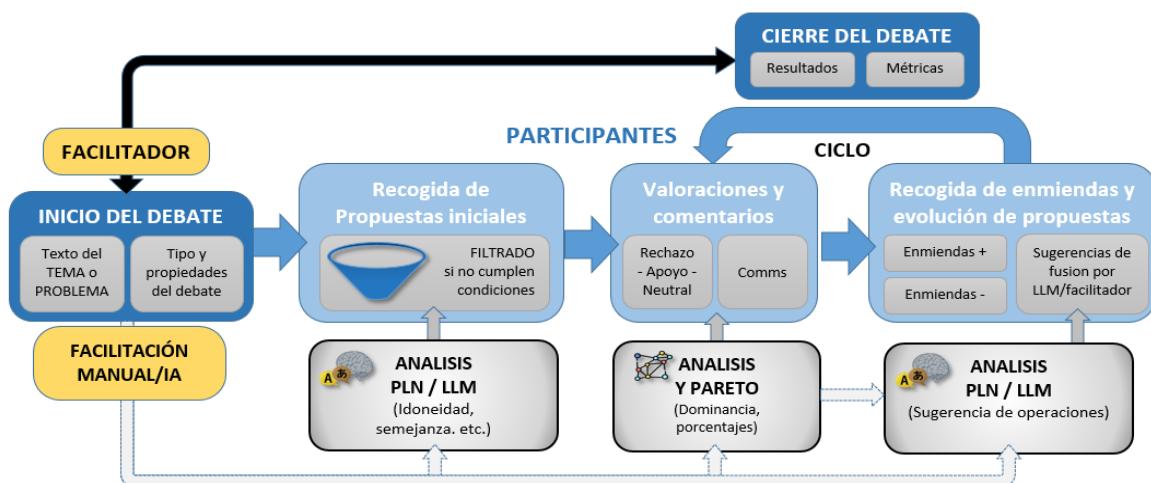


Figura 20. Esquema de flujo deliberativo (Fuente: Elaboración propia)

El flujo contempla las siguientes fases (figura 20):

Inicio del debate: Un facilitador crea un nuevo espacio deliberativo en la plataforma, definiendo un tema o pregunta abierta, el contexto del problema y la tipología y reglas del proceso (número de rondas, temporalidad, umbrales de apoyo, visibilidad, etc.).

Recogida abierta de propuestas: Los participantes envían propuestas en lenguaje natural. Estas son almacenadas en la base de datos junto a sus autores y metadatos relevantes. El sistema impone pocas restricciones estructurales en esta fase para favorecer la expresividad y diversidad semántica. (Por ejemplo, las propuestas tendrán que ver con el tema)

Valoración colectiva inicial: Los participantes visualizan las propuestas disponibles y emiten valoraciones: apoyo, rechazo o NS/NC. Estas valoraciones alimentan los atributos del álgebra de propuestas (funciones de apoyo, rechazo y compartición).

Análisis semántico y estructural: El *backend* deliberativo realiza análisis automático de las propuestas: Cálculo de **cercanía semántica** entre propuestas usando PLN. Evaluación de **dominancias** y relaciones de inclusión (Frente de Pareto). Identificación de posibles redundancias, contradicciones o complementariedades.

Transformaciones asistidas de propuestas: El sistema propone (o permite que los participantes propongan) operaciones del álgebra: **Fusión** de propuestas similares. **Enmiendas** simplificadoras o aclaratorias. **Generalizaciones** para aumentar el consenso potencial. **Reformulaciones** mediadas por un *LLM* si se requiere. Toda transformación es registrada con trazabilidad y validación de apoyo.

Revaloración y evolución: Las nuevas versiones de propuestas se presentan a los participantes, que pueden volver a valorar. Solo se aceptan transformaciones que igualen o aumenten el apoyo de las propuestas originales, siguiendo el criterio de **mejora no regresiva**.

Cálculo de consensos y recomendaciones: El sistema aplica métodos como el **frente de Pareto** para identificar propuestas no dominadas, visualiza zonas de convergencia y genera sugerencias estratégicas para facilitar acuerdos más amplios y posibles caminos para alcanzar el consenso.

Cierre del ciclo: Según las condiciones establecidas (número de rondas, tiempo, estabilización del consenso), el facilitador cierra el proceso y presenta los resultados: Propuestas finales seleccionadas, grados de apoyo y disenso residual, estadísticas y trazabilidad del proceso

Este flujo puede adaptarse a diferentes modalidades deliberativas: consultas abiertas, procesos de co-creación de políticas, presupuestos participativos, debates educativos, etc. Su modularidad permite insertar o repetir fases específicas, y puede ser personalizado en cuanto a número de iteraciones, visibilidad de propuestas o intervención del facilitador.

5.3.2 Tipos de debates y escenarios de interacción

Siguiendo las etapas anteriores descritas, se plantean tres tipos principales de debate, cada uno con su particularidad o restricción.

MODO 1. DECISIÓN COLECTIVA TIPO ‘APGREE’ (Escalable) Se plantea esta solución para posibles decisiones colectivas necesarias para grandes números donde las posibilidades deliberativas son menores siguiendo el siguiente esquema (figura 21):

- 1. El facilitador crea la pregunta abierta y los participantes responden,

- 2. Las respuestas se reparten aleatoriamente entre los participantes (cuidando que ninguna acabe en el redactor) Aquí hay dos modos. A) Se envía una a cada participante, anonimizadas y el participante simplemente apoya o rechaza B) Se envían dos propuestas y el participante elige la que más apoya (o menos rechazo le causa).
- 3. Se eligen las propuestas más apoyadas (porcentaje a definir) y se comienza el ciclo
- 4. Al final de varios ciclos, según el número de usuarios y propuestas, se elige entre las dos más apoyadas.



Figura 21. Flujo simplificado tipo Appgree. (Fuente: Elaboración propia)

MODO 2. DECISIÓN COLECTIVA TIPO DELPHI (Paneles de expertos) Se plantea esta solución para un numero entre 10 y 30 participantes especialistas en un tema o involucrados en una determinada situación, siguiendo este proceso:

- Cada panelista envía su propuesta anonimizada al conjunto,
- Los panelistas valoran y hacen comentarios (valoraciones) de las otras propuestas
- Cada panelista recibe, también anónimamente, los comentarios del resto de panelista e intenta mejorar la propuesta según los comentarios.
- Las propuestas mejoradas se envían al conjunto y se repite el ciclo tantas veces sea necesario (dos o tres veces puede ser un número aconsejable)
- Finalmente, los panelistas valoran el resto de propuestas mejoradas y al final de eligen entre dichas propuestas.

MODO 3. DECISIÓN COLECTIVA CON FRENTE DE PARETO (Más deliberativa) Esta es la solución más participativa y deliberativa y sigue el flujo completo (fig. 17) aunque no es muy escalable a grandes números. Su uso se basa en filtrar las propuestas dominadas y quedarnos solo con las propuestas pertenecientes al frente de Pareto.

5.3.3 Casos de uso para pruebas funcionales.

Se plantean los siguientes casos de uso para la prueba de la aplicación:

Caso de uso 1º: Creación del debate por parte del facilitador.

Escenario: Un facilitador accede a la aplicación para crear un debate.

- Crea un nuevo debate (se le asigna un identificador interno en la BD).
- Redacta el tema/problema a debatir y lo guarda en la BD.
- Tipifica y fija las principales características del debate (tipo de flujo, posibles participantes, nº de rondas, anonimidad, etc.)
- Cambia el estado del debate a “abierto/activo” (1^a fase)

Caso de uso 2º: Creación de propuestas por parte de los participantes.

Escenario: Un participante accede a un debate abierto sobre un tema/problema en 1º fase.

- Visualiza el contexto del debate desde el *frontend*.
- Redacta una nueva propuesta y la envía. (El sistema la integrará siempre que tenga que ver con el tema, longitud mínima, etc.)
- El sistema registra la propuesta en la BD y actualiza el listado de aportaciones.

Caso de uso 3º: Valoración de propuestas y creación de enmiendas y comentarios por parte de los participantes. (DEPENDE DEL CADA UNO DE LOS MODOS)

Escenario: Un participante accede a un debate abierto sobre un tema/problema en 2º fase.

- Visualiza el contexto y las propuestas de todos los participantes desde el *frontend*.
- Valora cada una de las propuestas (apoyo, rechazo, NS/NC).
- Propone enmiendas (+/-) las propuestas y/o les hace comentarios.

Caso de uso 4º: El facilitador supervisa y hace avanzar el debate.

Escenario: El facilitador accede a un debate abierto para hacerlo avanzar.

- Accede al panel de facilitación con su rol autenticado.
- Visualiza estadísticas: apoyo de propuestas, nº de valoraciones, dominancias, dispersión. etc.
- Solicita al sistema sugerencias de transformación para propuestas ambiguas o sugerencias de fusión para propuestas cercanas.
- Solicita al sistema el cálculo del frente de Pareto para sugerir el borrado de propuestas dominadas y que propuestas podrían ser mejores para avanzar hacia consenso.
- Revisa las reformulaciones sugeridas por el *LLM* y decide si ejecutarlas o no.
- Avanza una nueva fase.

Caso de uso 5º: El facilitador cierra el debate y publica los resultados.

Escenario: El facilitador accede a un debate ya avanzado.

- Accede al panel de facilitación con su rol autenticado.
- Publica los resultados finales.

5.4 INTEGRACIÓN DEL ÁLGEBRA DE PROPUESTAS Y EL LLM

En este trabajo se aplican modelos ya entrenados. Ya se indicó anteriormente que se renunciaba al reentrenamiento (*fine-tuning*) de modelos ya entrenados, por razones de coste; implica reentrenar el modelo sobre un conjunto de datos específico para especializar su comportamiento. Aunque esta técnica ofrece un alto grado de personalización, también requiere recursos computacionales significativos y selección cuidadosa del *dataset*. En este contexto, se ha preferido recurrir a alternativas más directas como *RAG* o *prompting* avanzado.

Para la integración del *LLM* en las operaciones del álgebra de propuestas que lo requieran, se han aplicado tres acercamientos desde el más simple al más sofisticado en el espectro que va desde el *prompting* hacia el *RAG*, pasando por la creación de un asistente y en los tres casos utilizando la *API* de OpenAI.

5.4.1 *Prompting* básico de operaciones del álgebra

En el modo más sencillo, se construyen los *prompts* de ciertas operaciones, de esta manera:

OPERACIONES BINARIAS:

UNION: "Construye una nueva propuesta que incluya los elementos esenciales de estas dos propuestas, eliminando las posibles redundancias, de acuerdo al tema [tema y dos propuestas] (No incluyas cabeceras, ni *bullets*, ni referencias a las propuestas de origen y mantén en lo posible la redacción y estilo de las propuestas originales, no inventando nuevos términos, ni sinónimos, ni giros, ni apreciaciones que no estén en las propuestas originales)."

INTERSECCION: "Construye una nueva propuesta que incluya solo los elementos que consideres que son comunes a estas dos propuestas, eliminando la redundancia de lo común y las disimilitudes, de acuerdo al tema [tema y dos propuestas] (No incluyas cabeceras, ni *bullets*, ni referencias a las propuestas de origen y mantén en lo posible la redacción y estilo de las propuestas originales, no inventando nuevos términos, ni sinónimos, ni giros, ni apreciaciones que no estén en las propuestas originales)."

CONSENSO: "Redacta una nueva propuesta que consideres podría ser una propuesta de consenso entre estas dos propuestas, de acuerdo al tema [tema y dos propuestas] (No incluyas cabeceras, ni *bullets*, ni referencias a las propuestas de origen y mantén en lo posible la redacción y estilo de las propuestas originales, no inventando nuevos términos ni giros ni apreciaciones que no estén en las propuestas originales). Si ves que ambas propuestas están muy

alejadas antecede la propuesta resultante con la frase 'El consenso es difícil con posturas tan alejadas, pero ' "

CERCANIA: "¿Qué grado de similitud hay entre estas dos propuestas sobre el tema [tema y dos propuestas] Proporciona solo un número entre 0 (nada similares o incluso opuestas) y 1 (idénticas o muy parecidas) y con dos decimales."

OPERACIONES UNARIAS:

SIMPLIFICAR: "Simplifica, resume y acorta la siguiente propuesta manteniendo su significado esencial [propuesta] (No incluyas cabeceras, ni *bullets*, ni referencias a la propuesta de origen y mantén en lo posible la redacción y estilo de la propuesta original, no inventando nuevos términos, ni sinónimos, ni giros, ni apreciaciones que no estén en la propuesta original)."

GENERALIZAR: "Reescribe la siguiente propuesta en términos más amplios y generales, un poco más laxos que pudieran hacer que la apoyasen más participantes [propuesta] (No incluyas cabeceras, ni *bullets*, ni referencias a la propuesta de origen y mantén en lo posible la redacción y estilo de la propuesta original)."

ENMIENDA+: "Mejora la siguiente propuesta teniendo en cuenta esta valoración propositoria. Intenta incluir algún matiz de acuerdo a la valoración aportada pero siempre que no desvirtúe la propuesta original [propuesta y valoración] (No incluyas cabeceras, ni *bullets*, ni referencias a la propuesta de origen y mantén en lo posible la redacción y estilo de la propuesta original, no inventando nuevos términos, ni sinónimos, ni giros, ni apreciaciones que no estén en la propuesta original)."

ENMIENDA-: "Corrige o atenúa la siguiente propuesta teniendo en cuenta esta crítica negativa. Intenta incluir algún matiz de acuerdo a la valoración que atempere la razón de la crítica, pero manteniendo en lo posible la esencia de la propuesta original [propuesta y valoración] (No incluyas cabeceras, ni *bullets*, ni referencias a la propuesta de origen y mantén en lo posible la redacción y estilo de la propuesta original, no inventando nuevos términos, ni sinónimos, ni giros, ni apreciaciones que no estén en la propuesta original)."

Adicionalmente se propone un nuevo operador llamado COHERENCIA (tema, propuesta) que actúa como filtro, evaluando si la propuesta es mínimamente coherente, válida sintáctica y ortográficamente, y corresponde con el tema/problema. Si bien esta función estrictamente no requiere un *LLM* generativo y podría acometerse con módulos menos pesados de PLN (p.ej Spacy), por sencillez se ha decidido integrarla en el mismo paquete de funciones.

COHERENCIA-: "Evalúa la validez ortográfica y sintáctica de la propuesta y su coherencia con el tema [tema y propuesta] En caso que la propuesta no válida y coherente retorna simplemente la frase 'Esta propuesta no puede procesarse porque no es válida ortográfica o sintácticamente o bien no es coherente con el tema propuesto ' "

Adicionalmente, y para simulaciones se ha creado el operador binario TRIANGULO, que genera una tercera propuesta, a partir de dos, alejada de ambas, usando el *LLM*.

Lógicamente, el resto de operaciones del álgebra relacionadas con la aceptación de las propuestas, mayormente cuantitativas, por parte de los participantes, como APOYO, RECHAZO, COMPARTICION, DOMINANCIA e INCLUSION, no necesitan ningún procesamiento del lenguaje natural de las propuestas. (Figura 22).

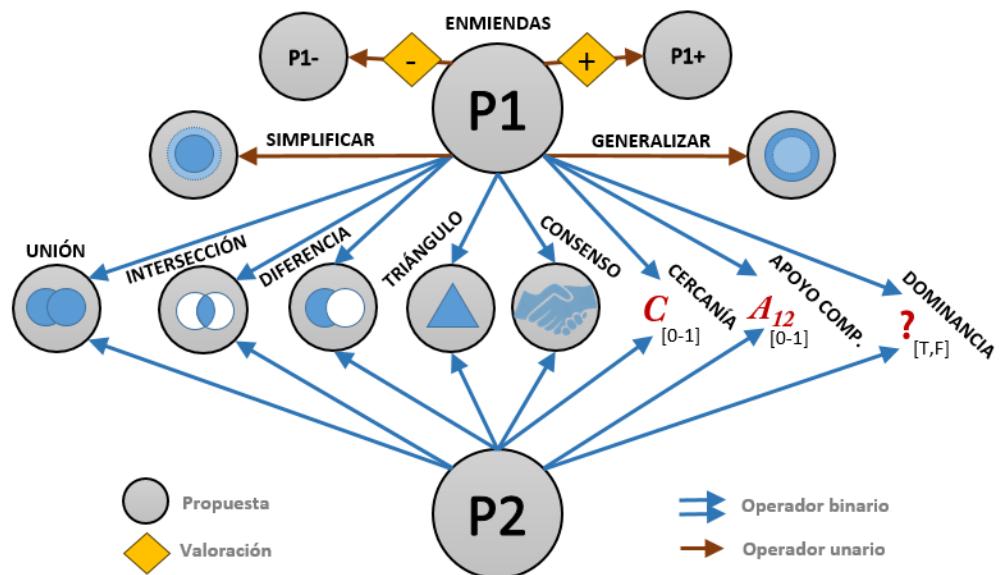


Figura 22. Operaciones del álgebra de propuestas (Fuente: Elaboración propia)

5.4.2 Uso de asistente y RAG

En un nivel más especializado se construye un asistente específico, con todas las instrucciones, por cada una de las ocho operaciones mencionadas del álgebra. La *API* de *Assistants* de OpenAI incluye un mecanismo nativo para anexar documentos y usarlos vía *RAG* sin que haya que construir el flujo de ingestión, *chunking* y búsqueda semántica.

Para alimentar el *RAG* se ha propuesto, inicialmente, construir un fichero con al menos cinco temas por cada una de las operaciones que requieren el uso del *LLM* (45 ejemplos de salida en total), fichero de ejemplos que servirá de ingesta de datos para la base de datos vectorial. Más adelante se ampliará y “curará” más cuidadosamente dicho fichero, incluso alimentándolo con los ejemplos más exitosos de ejecuciones. En el apartado 5.1.5 se ofrecen más detalles.

5.4.3 Datos de ingesta RAG para su uso con el *LLM*

Inicialmente se han propuesto algunos temas, que se listan a continuación, usualmente algo conflictivos, creando tablas con todas las operaciones para alimentar el *RAG*. Se adjunta un fichero PDF con los datos de los ejemplos iniciales.

- ¿Los frutos del trabajo individual pertenecen al individuo, y ningún otro individuo o grupo puede apropiarse de ellos o bien los frutos del trabajo humano forman parte de una empresa comunitaria y por lo tanto se deben al bien común?
- ¿Deberían seguir celebrándose las corridas de toros?
- ¿Debería implantarse una Renta Básica Universal financiada con impuestos progresivos?
- ¿Deben las plataformas de redes sociales asumir responsabilidad legal por el contenido que difunden?
- ¿Deberían prohibirse los alimentos transgénicos?



Temas para
RAG.pdf

En una fase posterior pueden ir ampliándose los ejemplos y “curando” los datos para mejorar progresivamente las respuestas del *LLM* desde el prototipo.

5.4.3 Métricas globales de los debates y estrategia de facilitación.

Para caracterizar el estado de los debates se han creado algunas métricas auxiliares que serán útiles para evaluar el estado y la evolución de los mismos:

En primer lugar, es interesante tratar de capturar la máxima diversidad para lo cual se crea un índice de diversidad de un debate a partir de la distancia (1-CERCANIA) media entre propuestas. Dicho índice varía de 0 a 1 siendo 1 la máxima diversidad: $D = \sum_{i < j} (1 - c_{ij})$

En caso de que exista poca diversidad, también el *LLM* puede tratar de generar una nueva propuesta con posibles posturas que puede entender no han recogido todo el espectro. (Usando en concreto el operador TRIANGULO)

En otro momento del debate, en fase de facilitación, resulta interesante el poder fundir propuestas cercanas usando los operadores UNION/INTERSECCION para estrechar el espectro de propuestas, también SIMPLIFICAR en caso de propuestas largas puede ser de utilidad. Posteriormente pueden aplicarse el operador CONSENSO según las indicaciones del planificador.

Además, para evaluar cuantitativamente el grado de consenso actual en un determinado debate se ha creado un índice de consenso que parte de la misma idea de la distancia media, pero ponderándola por los elementos (apoyo/rechazo) distintos entre propuestas, y así evaluar los pasos (coste) necesarios hasta el consenso $C = 1 - \sum_{i < j} (1 - c_{ij}) \sum_{i < j} w_i w_j$

5.5 BREVE GUÍA DE USO DEL PROTOTIPO

“ALICCIA” es una aplicación web que quiere servir de guía, muestra, laboratorio y plataforma para la investigación y realización práctica de técnicas deliberativas de decisión colectiva asistidas por IA.

Esta aplicación web está desarrollada en PHP, MySQL, JS, HTML y CSS usando diferentes librerías de código libre (Bootstrap, JQuery, etc...) o que son accesibles gratuitamente (Font Awesome, Google charts, DialogFlow, GoJS, etc.)

La aplicación permite a sus usuarios crear, parametrizar y participar en diferentes modalidades de debates sobre cualquier tema.

Los únicos requisitos técnicos a nivel de usuario consisten en usar un navegador web que permita la ejecución de javascript y tener habilitadas las cookies. Se recomienda también permitir a la aplicación, cuando lo requiera, conocer la ubicación del usuario, para una funcionalidad más completa. La aplicación se ha realizado con criterios “responsive” con lo cual puede ser ejecutada en principio tanto en ordenadores personales como en tablets o smartphones.

Sus usuarios pueden ser de los siguientes tipos:

- Administrador: Responsable del sitio y gestiona los usuarios.
- Facilitador: Crea y gestiona los debates.
- Participante: Participa en los debates, con un usuario determinado.
- Invitado: Usuario ocasional que puede participar en los debates abiertos.



Figura 23. Cabecera de la aplicación (Fuente: Elaboración propia)

Desde la cabecera (figura 23) se accede al laboratorio (Lab), a la zona de debates, o a información de ayuda. Los usuarios registrados pueden autenticarse en el ícono de usuario.

En el LABORATORIO se puede experimentar con tres tipos de utilidades. 1) pruebas de los operadores del álgebra, 2) Prueba del cálculo del frente de Pareto y 3) Prueba con el planificador hacia el consenso.



Cuando se entra en el apartado de DEBATES, dependiendo del usuario que este autenticado, se listan los distintos debates a las que este usuario tiene acceso. Nuevamente, respecto a la privacidad aquí solo hay dos tipos de debates, los debates abiertos (en el que puede participar cualquier usuario, incluyendo a los invitados, con ciertas restricciones durante las intervenciones) y los debates con grupo de debate asignado en el que solo pueden participar los integrantes de dicho grupo.

Mis debates activos en curso						
IMAGEN	Nombre	Resumen	Pregunta / Texto inicial (Se muestra solo el comienzo ...)	Grupo	Tipo	Estado
	Debate de PRUEBA	Resumen de PRUEBA	Texto inicial de PRUEBA		ABIERTO	Appgree ACTIVO
Debates ya cerrados (Con resultados finales)						

Figura 24. Listado de debates (Fuente: Elaboración propia)

En el listado (figura 24) se pueden ver sus características principales: imagen, nombre, resumen, la cabecera del texto principal de inicio y el tipo de debate. Los debates no tienen un periodo de actividad concreto pudiéndose avisar, por parte del facilitador que gestiona el debate, de su fecha de finalización parcial (de fase) o final. Pulsando sobre el cuadro “Detalles” se tiene acceso a más características, además de al texto completo de la propuesta/pregunta. En “Desarrollo” puede accederse a información resumida del desarrollo del debate (participantes, intervenciones) y para participar proponiendo o valorando hay que pulsar en “ENTRAR”.

TIPOS DE DEBATES:

- Tipo Appgree – A la pregunta inicial le sucede una fase única de recogida de propuestas y luego varios ciclos de valoración sí/no o preferencial, de todas ellas (o de una muestra al azar si se supera un cierto límite) y descarte sucesivo de las menos valoradas (en las fases que sean necesarias) hasta llegar a una respuesta “ganadora” la propuesta más ampliamente apoyada.

- **Tipo Delphi** - A la pregunta o planteamiento inicial le sucede varias fases o “generaciones” de recogida de enmiendas/mejoras y valoraciones anónimas, hasta llegar a un resultado final donde la propuesta más apoyada será la que recoja más las valoraciones ajenas.
- **Tipo Vilfredo** - A la pregunta o planteamiento inicial le sucede varias fases de recogida de enmiendas/mejoras con apoyo o no y cálculo de las propuestas que pertenezcan al frente de Pareto (dominancia entre propuestas)

En todos los casos se parte de una propuesta o pregunta inicial que abre el debate.

La participación en los debates es más rica y compleja que en simples votaciones y encuestas ya que puede participarse más de una vez (según el tipo de debate) y además pueden valorarse y comentar otras respuestas/propuestas o incluso crear nuevas propuestas a partir de otras según van avanzando las fases (generaciones). El papel aquí del facilitador es crucial. En las figuras 25 y 26 se muestra un ejemplo con los espacios para propuestas, valoraciones, comentarios y evoluciones de las propuestas.

Debate público de PRUEBA

Texto propuesta inicial para un debate público de prueba

Debate ABIERTO de tipo IWarsMap, creado por Carlos Rossique



TEXTO INICIAL

Aquí iría el texto propuesta inicial, o pregunta de lanzamiento, para un debate público de prueba en el que podrá participar cualquier usuario. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipisicing elit. Rem nam temporibus voluptates repellat voluptatum suscipit et asperiores omnis fugiat laborum iste, quasi facilis ab, sit quod magni. Rerum eos, iure.

Figura 25. Texto inicial de un debate (Fuente: Elaboración propia)

RESPUESTAS/PROYECTOS								
Gn	fecha	Nick/email	TEXTO (Se muestra solo el comienzo)	TXT	VAL	VALOR	comm	EVO
1	2019-02-19	Kepler	Propuesta de PRUEBA			1.25		
1	2019-02-19	Usuario_Random_1	Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipisicing elit. Quaerat blanditiis quibusdam nesciunt iur ...			0		
2	2019-02-19	Usuario_Random_2	Quaerat blanditiis quibusdam nesciunt iure dignissimos minus ea commodi unde debitis quo, autem, pa ...			0.7		
2	2019-02-19	rossique@yahoo.es	Prueba de propuesta hija			2		

Figura 26. Propuestas de un debate (Fuente: Elaboración propia)

 **Inserte una nueva propuesta o evolucione una anterior**

(El formulario NO se activará si ya ha participado en esta generación o si la fase no está activa)
IMPORTANTE: No se permite la duplicidad de usuarios desde el mismo terminal para propuestas o valoraciones

INTRODUZCA UNA NUEVA PROPUESTA/RESPUESTA: (Solo una por usuario cada generación)

Escriba un texto (máximo 256 caracteres)

FIRMADA POR:

crossique@yahoo.es

EN RESPUESTA A:

(Escoja una de las respuestas/propuestas si se trata de una evolución. Dejar en blanco si es nueva idea o primera generación) ▼

Rellene el Captcha:



(introduzca el texto de la imagen)

ENVIAR RESPUESTA/PROPUESTA

Figura 27. Inserción de una nueva propuesta (Fuente: Elaboración propia)

6. EVALUACION DE LA HERRAMIENTA DESARROLLADA

6.1 OBJETIVOS DE LA VALIDACIÓN

- Verificar los requisitos funcionales de la aplicación.
- Verificar la trazabilidad y persistencia de propuestas y valoraciones.
- Comprobar la integración funcional entre el *frontend* y el *backend* IA vía API.
- Evaluar los tiempos de respuestas de las operaciones del álgebra.
- Comprobar el correcto cálculo del frente de Pareto.
- Comprobar el correcto resultado de las rutas propuestas por el planificador.
- Evaluar la utilidad y legibilidad de las transformaciones automáticas (enmiendas, fusiones, generalizaciones) generadas por el *LLM*.
- Evaluar la usabilidad del prototipo recogiendo las opiniones de usuarios que utilizan sus funcionalidades para efectuar debates deliberativos.

6.2 ESCENARIOS DE EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO

Se plantean hasta tres escenarios concretos para ilustrar el comportamiento del sistema en situaciones reales, siguiendo el flujo deliberativo que ya se propuso y siguiendo los tres modos de debate que se han tipificado inicialmente (que podrían llamarse *appgree*, *delphi* y *pareto*)

En cada uno de los tres escenarios se proponen distintas métricas y comprobaciones. (Se listan en la tabla 7, aunque en el primer escenario, simplificado, no sea necesario efectuar todas ellas)

Tabla 7. Escenarios de evaluación

(sub) escenario	Conjunto de propuestas	Objetivo	Resultado esperado
1. Diversidad inicial	10 enunciados heterogéneos	Ver la capacidad de medir y crear diversidad (CERCANIA)	Diversidad: 1–cercanía media > 0.5
2. Fusión de redundancias	Pareja de enunciados (cercanía > 0.8)	Evaluar los operadores UNION e INTERSECCION	-20 % propuestas, +20 % apoyo
3. Simplificación de claridad	Textos largos (>100 palabras)	Comprobar que SIMPLIFICAR mejora claridad	↑ en encuestas de usabilidad
4. Frente de Pareto	Opciones de APOYO/RECHAZO	Verificar cálculo de propuestas no dominadas	Identificación correcta del frente
5. Generalización para consenso	Propuestas con apoyo <40 %	Validar operaciones GENERALIZAR y CONSENSO	+15 % id.consenso

6.3 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN Y MÉTRICAS

- Cuantitativas: variación porcentual de apoyo, tiempo de proceso, *checks* funcionales.
- Cualitativas: encuestas de satisfacción, claridad.
- Trazabilidad/Explicabilidad: registro de cada *prompt* y respuesta *LLM* (*prompt*, parámetros, *token usage*) para garantizar transparencia.

Aunque el sistema no ha finalizado completamente aún su fase de desarrollo iterativo, se han realizado pruebas preliminares con casos simulados y usuarios en entornos controlados para validar la coherencia del flujo deliberativo y la viabilidad técnica de los módulos clave.

6.3 RESULTADOS PRELIMINARES

6.3.1 Utilidad funcional

El sistema permite la generación, valoración y transformación de propuestas de forma trazable y sin pérdida de información de acuerdo a los casos de uso para pruebas funcionales planteados en el apartado 5.3.3., esto es, las fases funcionales de 1) creación del debate, 2) generación de propuestas, 3) aporte de valoraciones y enmiendas, 4) fase de facilitación, y 5) fase de cierre del debate y resultados) y para los usuarios participantes y facilitadores de la tabla 5 (Apartado 4.2.1).

Asimismo, se ha comprobado la persistencia de propuestas y valoraciones, así como su precedencia, comprobando la utilidad y funcionalidad de la base de datos MySQL del prototipo. Se ha comprobado también el correcto funcionamiento de los *endpoints* entre el *frontend PHP* y el *backend Python*.

Se ha comprobado el correcto cálculo del frente de Pareto y la identificación de las propuestas que forman parte de él. También se han validado los caminos sugeridos por el planificador en las rutas propuestas hacia el consenso y la evolución positiva de las métricas globales.

6.3.2 Tiempos de respuesta de los *LLMs* y el planificador. Costes asociados.

Las operaciones del álgebra se aplican correctamente, aunque hay diferencias notables de resultado y tiempo de computación dependiendo del modelo LLM empleado. En todo caso, los tiempos de generación de resultados del álgebra de propuestas, alrededor de unos 10 segundos de promedio (figura 28) no se han considerado un problema, ya que en un entorno deliberativo no se requieren respuestas más rápidas. (No es un sistema de tiempo real).

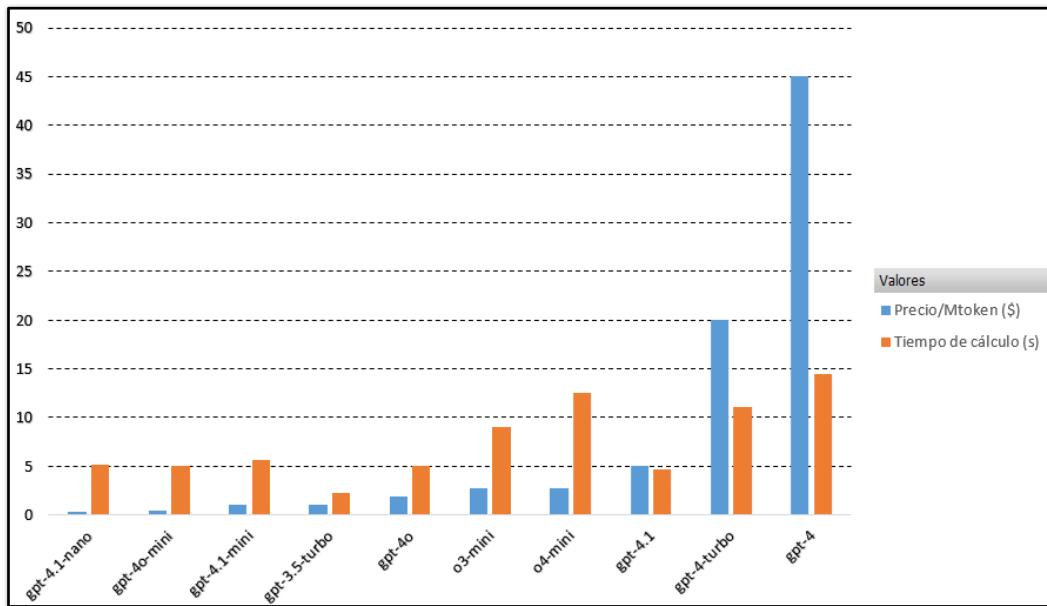


Figura 28. Tiempo y coste de los operadores por LLM (Fuente: Elaboración propia)

Por otra parte, las operaciones de cálculo de planificación y cálculo del frente de Pareto, son bastante más rápidas, en torno al segundo de duración, y pueden considerarse casi instantáneas para este campo de aplicación.

6.3.3 Claridad de las propuestas y percepción de los usuarios

Las reformulaciones generadas por el *LLM* fueron consideradas "claras" o "útiles" en más del 70% de los casos evaluados por participantes. Hay algunos operadores algebraicos que necesitan aún un mayor ajuste y definición y sin duda tienen margen de mejora en su definición de *prompting* y mejoramiento de los datos para el *RAG*. Las métricas globales propuestas (índices de diversidad y consenso), han evolucionado favorablemente en todo caso, aunque aún es posible ofrecer un mayor detalle cuantitativo en el futuro al aumentar la casuística de uso)

Respecto a la utilidad general y percepción de los usuarios, la idea inicial para las métricas cualitativas ha sido aplicar *SUS* (*System Usability Scale*, un cuestionario breve de 10 ítems con respuestas en escala Likert de 1 a 5, que alterna preguntas positivas y negativas) y *NPS* (*Net Promoter Score*, de una sola pregunta: "¿Qué probabilidad hay de que recomienda este sistema en una escala de 0 a 10?", calculándose su resultado según las relaciones de porcentajes entre respuestas) pero, dado el exiguo número - de momento - de participantes que han testeado la aplicación, se aplaza su consecución para un plazo cercano de tiempo (2 o 3 meses).

7. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

7.1 CONCLUSIONES

Este Trabajo de Fin de Máster ha planteado el diseño e implementación de un prototipo funcional para facilitar la inteligencia y la toma de decisiones colectivas, combinando participación humana con asistencia algorítmica. A través de una arquitectura modular basada en tecnologías web, análisis semántico y modelos de lenguaje, se ha explorado un enfoque híbrido que promueve una deliberación más estructurada, transparente y evolutiva.

La principal contribución metodológica ha sido la definición de un álgebra de propuestas, que permite formalizar operaciones deliberativas típicas (como unión, la generalización o la enmienda) sobre enunciados en lenguaje natural. Este formalismo ha sido integrado en un sistema funcional que recoge, valora y transforma propuestas de forma trazable, apoyado por métricas colectivas como el frente de Pareto, la diversidad de las propuestas en función de su cercanía semántica y el nivel sus apoyos compartidos.

El sistema implementado —denominado ALICCIA— permite representar dinámicamente la evolución de un proceso deliberativo y asistir a los participantes y facilitadores en la construcción de consensos. Su validación preliminar ha mostrado resultados prometedores en términos de coherencia funcional, utilidad de las recomendaciones automáticas y capacidad de integración tecnológica.

Este trabajo demuestra que es posible aplicar estructuras formales, técnicas de procesamiento de lenguaje natural y modelos generativos en contextos participativos reales, conservando la agencia humana y ampliando las capacidades cognitivas colectivas.

7.2 LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

A pesar de los avances logrados, este prototipo abre múltiples caminos de mejora para continuar su desarrollo:

- ❖ Validación empírica en entornos reales / Pruebas de usabilidad a escala: aplicar el sistema en contextos participativos concretos: Por ejemplo: Planificar tres estudios piloto (municipal, académico, ONG) con 10 a 50 participantes cada uno. Recoger métricas de eficiencia (tiempo hasta consenso), eficacia (porcentaje de propuestas del frente de Pareto aceptadas) y experiencia de usuario (SUS (*System Usability Scale*), NPS (*Net Promoter Score*)), complementadas con entrevistas semiestructuradas.
- ❖ Mejora de la interfaz de usuario y otros requisitos no funcionales y visualización más intuitiva de relaciones: incorporar gráficos dinámicos para representar similitudes semánticas, trayectorias de transformación o mapas de polarización temática.
- ❖ Ampliación de los límites de las propuestas más allá de las 500 palabras extendiendo la capacidad del análisis semántico, y adaptarlo también a otros idiomas, explorando la interpretación de propuestas y consensos en otros contextos sociolingüísticos.
- ❖ Dotación de mayor y mejor contexto a través de *RAG* empleando *datasets* más amplios y con ejemplos cuidadosamente seleccionados enriqueciendo los criterios del módulo de sugerencias con aprendizaje supervisado a partir de sesiones reales y retroalimentación explícita de usuarios.
- ❖ Dotar al planificador de mayor riqueza y “grano” o resolución bajando desde la propuesta al apoyo/rechazo individual de los participantes de un debate.
- ❖ Dar mayor integración empleando modelos generativos explicativos: experimentar con técnicas como *Chain-of-Thought* o *prompting* más estructurado para mejorar la trazabilidad y la justificación de las reformulaciones sugeridas por el *LLM*.
- ❖ Hacer pruebas con *Fine-tuning*: Diseñar y ejecutar un experimento de ajuste fino de un *LLM* (por ejemplo, GPT-3.5-turbo) utilizando un corpus de transcripciones de debates reales en español. Incluso entrenar un SLM en local enfocado a deliberación. Comparar la calidad de síntesis, la coherencia semántica y la latencia de respuesta frente al enfoque RAG puro.

En conjunto, estas líneas apuntan a consolidar un enfoque de inteligencia colectiva aumentada, donde la colaboración humana y la inteligencia artificial no se sustituyen, sino que se potencian mutuamente en la resolución de problemas complejos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aragón, P., Kaltenbrunner, A., Calleja-López, A., Pereira, A., Monterde, A., Barandiarán, X. E., & Gómez, V. (2017). *Deliberative platform design: The case study of the online discussions in Decidim Barcelona* [Preprint]. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1707.06526>
- Appgree. (n.d.). *Appgree: Plataforma de inteligencia colectiva y deliberación participativa* [Software]. Recuperado el 26 de junio de 2025, de <https://www.appgree.com/>
- Behrens, J., Kistner, A., Nitsche, A., & Swierczek, B. (2014). The principles of LiquidFeedback (1st ed.). *Interaktive Demokratie e. V.*
- Chowdhery, A., Narang, S., Devlin, J., Bosma, M., Mishra, G., Roberts, A., Barham, P., Chung, H.-W., Sutton, C., Gehrman, S., Dean, J., ... Goyal, N. (2022). *PaLM: Scaling language models with Pathways* [Preprint]. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.02311>
- Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Management Science*, 9(3), 458–467. <https://doi.org/10.1287/mnsc.9.3.458>
- Deb, K. (2001). *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*. John Wiley & Sons.
- Dong, Y., & Herrera-Viedma, E. (2020). Distributed linguistic representations in decision making: Taxonomy, key elements and applications, and challenges in data science and explainable artificial intelligence. *Information Fusion*, 67, 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.04.002>
- Dung, P. M. (1995). On the acceptability of arguments and its fundamental role in nonmonotonic reasoning, logic programming and n-person games. *Artificial Intelligence*, 77(2), 321–357. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(94\)00041-X](https://doi.org/10.1016/0004-3702(94)00041-X)
- iWarsMap. (n.d.). Interactive World Argument Map [Plataforma web]. Recuperado el 26 de junio de 2025, de <https://iwarsmap.com> (*Nota: plataforma empresarial, no hay literatura académica formal publicada*)
- Jackson, S. K., & Kuehn, K. M. (2016). Open source, social activism and “necessary trade-offs” in the digital enclosure: A case study of platform co-operative, Loomio.org. tripleC: Communication, *Capitalism & Critique*, 14(2), 413–427. <https://doi.org/10.31269/triplec.v14i2>

Kialo GmbH. (n.d.). *Kialo: Structured debate platform* [Plataforma web]. Recuperado el 26 de junio de 2025, de <https://www.kialo.com>

Landemore, H. (2013). Deliberation, cognitive diversity, and democratic inclusiveness: An epistemic argument for the random selection of representatives. *Synthese*, 190(7), 1209–1231. <https://doi.org/10.1007/s11229-012-0062-6>

Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., ... & Riedel, S. (2020). Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 9459–9474. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.11401>

LiquidFeedback. (2009). *The LiquidFeedback Project*. Public Software Group. Recuperado de <https://liquidfeedback.org>

Linstone, H. A., & Turoff, M. (1975). *The Delphi method: Techniques and applications*. Addison-Wesley. Recuperado de <http://is.njit.edu/pubs/delphibook/delphibook.pdf>

Loomio Cooperative. (2012). *Loomio: Collaborative Decision-Making Software*. Recuperado de <https://www.loomio.org>

Mankins, J. C. (1995, 6 de abril). Technology Readiness Levels: A White Paper. *Advanced Concepts Office, Office of Space Access and Technology, National Aeronautics and Space Administration*.

MESYLab. (2013). *Mesydel – Better Decisions Through Collective Intelligence*. Universidad de Namur. Recuperado de <https://mesydel.com>

Modgil, S., & Prakken, H. (2013). A general account of argumentation with preferences. *Artificial Intelligence*, 195, 361–397. <https://doi.org/10.1016/j.artint.2012.10.008>

Montero de Burgos, J. L. (1994). *Empresa y sociedad: Bases de una economía humanista*. Antares.

Negoc-IA. (2024). *Herramienta de inteligencia artificial para negociaciones colectivas*. Recuperado de <https://negoc-ia.cl/>

Novelcore. (2023). *Deliberate (dlbrt) – Participatory Deliberation Platform*. Recuperado de <https://novelcore.eu/deliberate-dlbrt/>

Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications. *Information & Management*, 42(1), 15–29. <https://doi.org/10.1016/j.im.2003.11.002>

OpenAI. (2023). *GPT-4 Technical Report*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.08774>

Polis. (n.d.). *Polis: A real-time system for gathering, analyzing and understanding what large groups of people think in their own words* [Software]. Recuperado el 16 de julio de 2025, de <https://pol.is>

Prometea. (2024). *Sistema de inteligencia artificial aplicada al ámbito jurídico*. Recuperado de <https://prometea.ar/>

Rahwan, I., Ramchurn, S. D., Jennings, N. R., McBurney, P., Parsons, S., & Sonenberg, L. (2003). Argumentation-based negotiation. *The Knowledge Engineering Review*, 18(4), 343–375. <https://doi.org/10.1017/S0269888903000640>

Redondo, M. (2015). Inteligencia colectiva y tecnologías emergentes: Análisis de la plataforma Appgree [Manuscrito no publicado].

Salazar, Ó. (2023, 29 de marzo). *What is the Technology Maturity Scale (TRL) and what is it used for?* Euro-Funding. <https://euro-funding.com/en/blog/what-is-the-technology-maturity-scale-trl/>

Serrano, A., Sánchez-Fernández, L., Sánchez-Torrubia, J. M., & Martínez-Ortiz, I. (2021). Artificial intelligence techniques for citizen participation platforms. *Multimedia Tools and Applications*, 80, 22 729–22 758. <https://doi.org/10.1007/s11042-021-11422-0>

Speroni di Fenizio, P., & Paterson, D. (2010). Don't vote, evolve! Using a human-based genetic algorithm as a base of a democratic decision making system. En *Proceedings of ePart 2010* (pp. 13–25).

Speroni di Fenizio, P., & Anderson, C. (2011). Using Pareto front for a consensus building, human-based genetic algorithm. En G. Kampis, I. Karsai, & E. Szathmáry (Eds.), *Advances in Artificial Life. Darwin Meets von Neumann (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5778*, pp. 175–182). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21314-4_22

Speroni di Fenizio, P. (2013). *Vilfredo goes to Athens: An AI moderator for consensus building* [Conference presentation]. Open University. Recuperado de <https://home.pietrosperoni.it/2013/vilfredo-goes-to-athens-an-ai-moderator-for-consensus-building/>

Sunstein, C. R. (2002). The law of group polarization. *Journal of Political Philosophy*, 10(2), 175–195. <https://doi.org/10.1111/1467-9760.00148>

Surowiecki, J. (2004). *The wisdom of crowds*. Anchor Books.

Tang, A., & Huang, H. (2020). Digital democracy in Taiwan: Experiences and innovations. *Journal of Deliberative Democracy*, 16(2). <https://doi.org/10.16997/jdd.394>

Tessler, M. H., Bakker, M. A., Jarrett, D., Sheahan, H., Chadwick, M. J., Koster, R., Evans, G., Campbell-Gillingham, L., Collins, T., Parkes, D. C., Botvinick, M., & Summerfield, C. (2024). AI can help humans find common ground in democratic deliberation. *Science*, 386(6719), eadq2852. <https://doi.org/10.1126/science.adq2852>

ThoughtExchange Inc. (n.d.). *ThoughtExchange: Collective intelligence platform* [Software]. Recuperado el 26 de junio de 2025, de <https://thoughtexchange.com/>

Touvron, H., Lavril, T., Izacard, G., Martinet, X., Lachaux, M.-A., Lacroix, T., Rozière, B., Goyal, N., Hambro, E., Azhar, F., Rodriguez, A., Joulin, A., Grave, E., & Lample, G. (2023). *LLaMA: Open and efficient foundation language models* [Preprint]. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.13971>

Townes, M. S. (2023, 29 de noviembre). *A Generalized Technology Readiness Level Scale for Measuring Technology Maturity: Development and Pilot Validation Study* [Preprint]. Preprints.org. <https://doi.org/10.20944/preprints202311.1771.v1>

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762>

Yang, F., & Väänänen, J. (2016). Propositional team logics. *Annals of Pure and Applied Logic*, 167(7), 557–589. <https://doi.org/10.1016/j.apal.2016.01.002>

Zhang, A., Walker, O., Nguyen, K., Dai, J., Chen, A., & Lee, M. K. (2023). *Deliberating with AI: Improving decision-making for the future through participatory AI design and stakeholder deliberation* [Preprint]. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.11623>

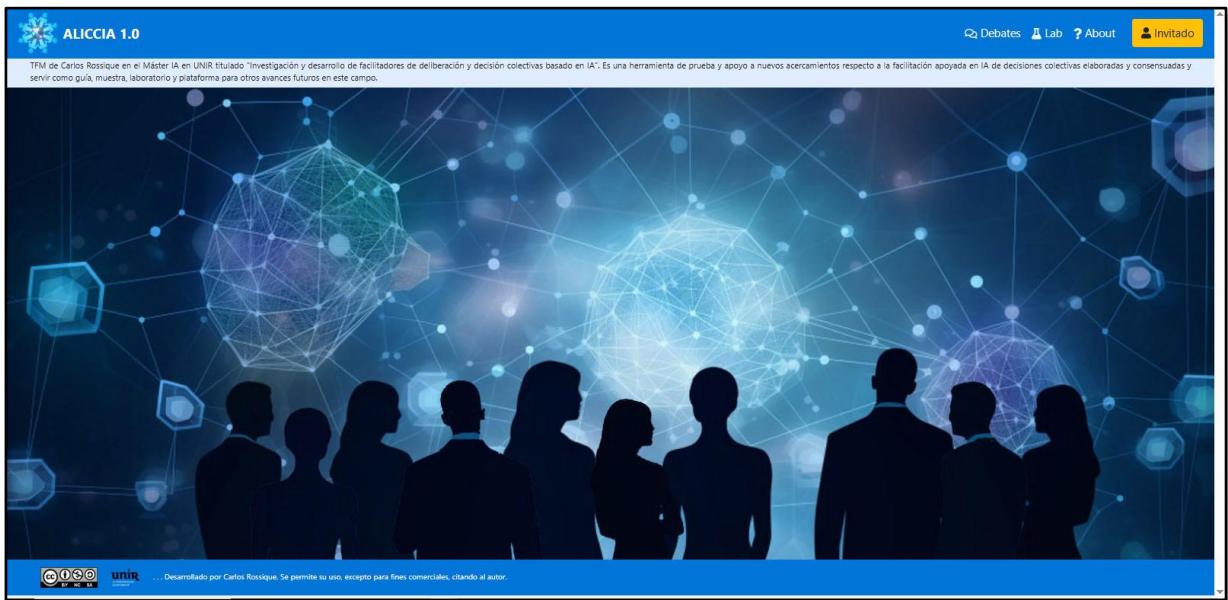
ANEXO A. CÓDIGO FUENTE

El código actual del prototipo está disponible públicamente, pero con *commits* externos solo disponibles para el autor y el resto deshabilitados en:

<https://github.com/crossique/ALICCIA>

ANEXO B. CAPTURAS DE PANTALLA DEL PROTOTIPO

Portada de la aplicación web:



Pantalla de ayuda e información del TFM:

Pantalla general de acceso a los debates:

The screenshot shows the ALICIA 1.0 platform interface. At the top, there's a blue header bar with the logo 'ALICIA 1.0' and navigation links for 'Debates', 'Lab', 'About', and 'Invitado'. Below the header is a section titled 'Zona de Debates y Preguntas Abiertas' (Open Debates and Open Questions). This section contains a table with three rows of data:

IMAGEN	Nombre	Resumen	Pregunta / Texto inicial (Se muestra solo el comienzo ...)	Grupo	Tipo	Estado	Detalles	Desarrollo	ENTRAR
	Debate público de PRUEBA	Texto propuesta inicial para un debate público de prueba	Aquí iría el texto propuesta inicial, o pregunta de lanzamiento, para un debate público de prueba en el que podrá participar cualquier usuario. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipisciing ...	ABIERTO	Vilfredo	ACTIVO			
	Debate privado de PRUEBA	Texto propuesta inicial para un debate privado de prueba	Aquí iría el texto propuesta inicial, o pregunta de lanzamiento, para un debate privado de prueba en el que solo podrán participar los integrantes de un determinado grupo privado de debate	ABIERTO	Appgree	ACTIVO			
	Carlos Rossique Delmas	Carlos Rossique Delmas	Carlos Rossique Delmas	ABIERTO	IWarsMap	ACTIVO			

Below the table, there's a section titled 'Debates ya cerrados (Con resultados finales)' (Closed Debates (With final results)). At the bottom of the page, there's a footer with a Creative Commons license logo and the text '... Desarrollado por Carlos Rossique. Se permite su uso, excepto para fines comerciales, citando al autor.'

Laboratorio de prueba de los operadores del álgebra (con LLM):

The screenshot shows the ALICIA 1.0 platform interface in the 'Lab' section. At the top, there's a blue header bar with the logo 'ALICIA 1.0' and navigation links for 'Debates', 'Lab', 'About', and 'Invitado'. Below the header is a section titled 'Lab: ÁLGEBRA DE PROPUESTAS' (Lab: Algebra of Proposals).

The main area has several input fields and dropdown menus:

- Tema / Problema / Pregunta:** A text input field containing the question: "¿Es conveniente la prohibición de las corridas de toros, o hay que mantenerlas?"
- EFFECTUAR OPERACIÓN:** A dropdown menu with options: TRIANGULO, Ejecutar, gpt-4.1-nano, 1, and asistente.
- Propuesta A:** A text area containing a long argument in Spanish about the ethics of bullfighting.
- Valoración (opcional):** A text area containing a shorter statement about conserving the spirit of the ferias.
- Propuesta B (opcional):** A text area containing a statement about the tradition of bullfighting.
- Resultado:** A large text area where the AI will generate its response.
- Salida de consola:** A red-highlighted text area showing the execution time: "Tiempo de ejecución: 7.59s".

Laboratorio de experimentación con el frente de Pareto (inserción de ayoyos/rechazos)

Laboratorio de experimentación con el frente de Pareto (resultados)

Laboratorio de experimentación con el planificador de hacia el consenso (datos):

The screenshot shows the ALICIA 1.0 interface with the following data:

- Prop1:** Supporters: U5 ×, U1 ×, U2 ×, U3 ×.
- Prop2:** Supporters: U5 ×, U4 ×, U6 ×, U7 ×, U8 ×, R1 ×; Opponents: R9 ×.
- Prop3:** Supporters: U5 ×, U12 ×, U11 ×, R10 ×, U8 ×; Opponents: R9 ×.
- Prop4:** Supporters: U8 ×, U10 ×, U11 ×, R12 ×, R5 ×.

Apoyos de usuarios (Supporters): U1, U2, U3, U4, U5, U6, U7, U8, U9, U10, U11, U12. A message says: "Arrastra estos apoyos a las propuestas."

Rechazos de usuarios (Opponents): R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12. A message says: "Arrastra estos rechazos a las propuestas."

Medidas de cercanía semántica entre propuestas (Semantic similarity between proposals):

```

    graph TD
      P1((P1)) <-->|0.5| P2((P2))
      P1 <-->|0.5| P3((P3))
      P1 <-->|0.5| P4((P4))
      P2 <-->|0.5| P3
      P2 <-->|0.5| P4
      P3 <-->|0.5| P4
  
```

Laboratorio de experimentación con el planificador de hacia el consenso (resultados):

The screenshot shows the ALICIA 1.0 interface with the following data:

Grafo de la mejor ruta (Graph of the best route):

```

    graph LR
      Prop2((Prop2)) -- 7.84 --> Prop1((Prop1))
      Prop3((Prop3)) -- 3.92 --> Prop1
      Prop4((Prop4)) -- 1.96 --> Prop1
  
```

Tipos de rutas (Types of routes):

- SERIE:** Shows a path from node 1 to node 4 through nodes 2 and 3.
- PARALELO:** Shows two parallel paths from node 1 to node 4.
- MIXTA:** Shows a path from node 1 to node 4 passing through nodes 2 and 3, with a feedback loop from node 4 back to node 3.

Top 10 rutas (Top 10 routes):

Ruta	Coste total
PARALELO: (Prop2->Prop1(c=7.84,u=4,r=0), Prop3->Prop1(c=3.92,u=2,r=0), Prop4->Prop1(c=1.96,u=1,r=0))	Coste total: 13.73
PARALELO: (Prop1->Prop2(c=9.80,u=2,r=1), Prop3->Prop2(c=3.92,u=2,r=0), Prop4->Prop2(c=1.96,u=1,r=0))	Coste total: 15.69
PARALELO: (Prop1->Prop3(c=5.88,u=3,r=0), Prop2->Prop3(c=5.88,u=3,r=0), Prop4->Prop3(c=5.88,u=0,r=1))	Coste total: 17.65
MIXTA: (Prop3->Prop2(c=3.92,u=2,r=0), Prop2->Prop1(c=11.76,u=6,r=0), Prop4->Prop3(c=1.96,u=1,r=0))	Coste total: 17.65
MIXTA: (Prop4->Prop2(c=3.92,u=2,r=0), Prop2->Prop1(c=11.76,u=6,r=0), Prop3->Prop1(c=1.96,u=1,r=0))	Coste total: 17.65
MIXTA: (Prop2->Prop3(c=5.88,u=3,r=0), Prop3->Prop1(c=11.76,u=6,r=0), Prop4->Prop1(c=1.96,u=1,r=0))	Coste total: 19.61
MIXTA: (Prop4->Prop3(c=5.88,u=0,r=1), Prop3->Prop1(c=7.84,u=4,r=0), Prop2->Prop1(c=5.88,u=3,r=0))	Coste total: 19.61

Página de gestión de los grupos de debate por parte del facilitador:

ID	Nombre	DELETE
01	ABIERTO	
02	Tecnutopías	
03	TFM	

ID	Nombre	Apellido(s)	Email	DELETE
000001	Carlos	Rossique	crossique@yahoo.es	

... Desarrollado por Carlos Rossique. Se permite su uso, excepto para fines comerciales, citando al autor.

Página de gestión de los debates por parte del facilitador:

Nombre	Resumen	TEXTO INICIAL (se muestra solo el comienzo ...)	GRUPO	Img	Cambiar	Tipo	Estado	GEN	Est/F	NºRes
Debate público de PRUEBA	Texto propuesta inicial para un debate público de prueba	Aquí iría el texto propuesta inicial, o pregunta de lanzamiento, para un debate público de prueba en el que podrá participar cualquier usuario. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipisicing elit. Rem nam tempor ...	ABIERTO			Appgree	3A	1	0	3

NUEVA PROPUESTA INSERTADA POR EL FACILITADOR: [Añadir Respuesta/Propuesta](#)

ESTADO DEL DEBATE: [Cambiar estado del debate](#) ESTADO DE LA FASE: [Cambiar estado de la fase](#)

TIPO DEL DEBATE: [Cambiar Tipo](#) GENERACION: [Avanzar generación](#) [Retrasar generación](#)

... Desarrollado por Carlos Rossique. Se permite su uso, excepto para fines comerciales, citando al autor.