

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA EN
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN



Estudio del entorno de la Inteligencia Artificial
Descentralizada (DeAI)

TRABAJO FIN DE GRADO

Junio - 2025

AUTOR: Juan Pablo Antón Ripoll
DIRECTOR/ES: Jesús Javier Rodríguez Sala

RESUMEN

La Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI) combina los principios de la descentralización, propios de la Web3, con la potente IA. Este trabajo busca entender en profundidad cómo se unen estos dos mundos, conectando tecnologías como blockchain, el aprendizaje federado y la computación distribuida, dando lugar a modelos de IA más transparentes, seguros y accesibles.

A lo largo del documento se realiza un recorrido por los conceptos fundamentales que definen la DeAI, su evolución histórica desde sistemas centralizados, y los principios que la sostienen: privacidad, transparencia, interoperabilidad e imparcialidad en los sistemas de inteligencia artificial. También se hace una comparación detallada con los modelos tradicionales de IA, mostrando cómo la descentralización permite a los usuarios mantener el control de sus datos y reducir la dependencia de grandes corporaciones tecnológicas.

Se dedica un capítulo completo al análisis de las tecnologías habilitadoras que permiten implementar la DeAI, desde blockchains y contratos inteligentes, a otras tecnologías de registro distribuido, conocidas genéricamente como DLTs (Distributed Ledger Technologies), criptografía avanzada y edge computing. A través de casos de uso concretos en sectores como las finanzas (DeFi), la salud, las ciudades inteligentes o la investigación científica, se demuestra cómo estas tecnologías ya están impactando en la vida cotidiana y abriendo nuevas posibilidades de colaboración e innovación.

Además, se examinan plataformas pioneras en el ecosistema DeAI como Bittensor, Ocean Protocol, SingularityNET o Fetch.AI, que ilustran diferentes enfoques para lograr una IA abierta, colaborativa y económicamente sostenible. También se analizan los principales retos que enfrenta la DeAI como la escalabilidad, el consumo energético, los problemas de gobernanza, la falta de una regulación clara y las implicaciones.

Por último, el trabajo plantea una reflexión crítica sobre las perspectivas futuras de esta tecnología, destacando su capacidad para integrarse con otros avances tecnológicos. También se exploran modelos emergentes de gobernanza participativa que podrían redefinir la forma en que se diseña y controla la IA en el futuro. Asimismo, se incorpora un anexo específico dedicado al programa Deep Funding de SingularityNET, un ejemplo sobre cómo la financiación descentralizada puede apoyar y democratizar proyectos innovadores dentro del ecosistema DeAI.

AGRADECIMIENTOS

Concluir este trabajo representa algo más que cerrar una etapa académica; ha sido también un proceso personal de constancia, reflexión y aprendizaje. A lo largo de este camino, ha habido momentos de claridad y otros de duda, pero siempre he tenido cerca a personas que, de distintas maneras, me han dado el impulso necesario para seguir adelante.

En primer lugar, quiero agradecer de corazón a mi pareja. Has sido un pilar esencial durante todo este proceso. Gracias por tu paciencia, por tu apoyo incondicional, por saber cuándo animarme y cuándo simplemente estar. En los días en los que sentía que esto no avanzaba, tu confianza en mí me recordó por qué empecé y por qué debía terminar. Tu comprensión ha sido fundamental, y me siento profundamente afortunado por haber compartido esta etapa a tu lado.

A mi familia, gracias por estar siempre, incluso sin hacer preguntas. Por enseñarme el valor del esfuerzo, la importancia de no rendirse a mitad de camino y por confiar en mí, incluso cuando no os contaba demasiado sobre en qué situación me encontraba. Ha sido una motivación constante saber que, de una forma u otra, me habéis acompañado también en esto.

Quisiera también reconocer el apoyo de algunas personas del entorno laboral, que sin saberlo han sido fuente de inspiración en más de una ocasión. A través de charlas informales, comentarios o incluso ejemplos cotidianos, su visión y forma de enfrentar los retos han influido más de lo que imaginan en la manera en que enfoqué este trabajo.

Por otro lado, agradezco a mi tutor académico su acompañamiento durante este proceso. Aunque nuestra interacción haya sido más puntual, su orientación ha servido como brújula en momentos clave, ayudándome a alinear mejor ideas, estructura y objetivos.

Finalmente, aunque este trabajo ha requerido muchas horas de dedicación individual, soy consciente de que nunca se camina del todo solo. Cada conversación, cada gesto de apoyo, cada momento de desconexión compartido ha contribuido, directa o indirectamente, a que hoy este proyecto esté completo. A todos los que, de alguna manera, habéis estado presentes: gracias.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	7
1.1. Contexto y motivación	7
1.2. Justificación del estudio	9
1.3. Objetivos del estudio	10
1.4. Metodología de investigación	11
2. Fundamentos de la Inteligencia Artificial Descentralizada	13
2.1. Definición y conceptos clave	13
2.2. Evolución histórica de la IA hacia la descentralización	15
2.3. Principios fundamentales de la DeAI	16
2.4. Comparación entre IA centralizada y descentralizada	17
3. Tecnologías Habilitadoras	21
3.1. Blockchain y contratos inteligentes	22
3.2. Tecnologías de Registro Distribuido (DLT). Alternativas a Blockchain	23
3.2.1 Hashgraph y su mecanismo de consenso Gossip	23
3.2.2 DAG (Gráfico Acíclico Dirigido) y su uso en DeAI	24
3.2.3 Holochain como alternativa a Blockchain	25
3.3. Aprendizaje federado	25
3.3.1 Aplicaciones en la DeAI	26
3.3.2 Limitaciones técnicas actuales	26
3.4. Computación en la Nube y Edge Computing	27
3.4.1 Computación en la nube: potencia remota bajo demanda	27
3.4.2 Edge Computing: el procesamiento se acerca al origen	28
3.5. Criptografía avanzada	29
3.5.1 Pruebas de Conocimiento Cero (ZK-Proofs)	29
3.5.2 Criptografía homomórfica	30
3.5.3 Firmas digitales y firmas en anillo	30
4. Arquitectura y Componentes de Sistemas DeAI	32
4.1. Modelos de datos descentralizados	32
4.2. Protocolos de consenso	33
4.3. Redes de nodos y computación distribuida	34
4.4. Interfaces de usuario y aplicaciones descentralizadas (dApps)	35
4.5. Seguridad y Privacidad en DeAI	36
4.6. Interoperabilidad entre sistemas	37
4.7. Gestión energética y sostenibilidad	38

5. Casos de Uso y Aplicaciones	40
5.1. Finanzas descentralizadas (DeFi)	40
5.2. Salud y medicina personalizada	41
5.3. Ciudades inteligentes e IoT	42
5.4. Gobernanza y toma de decisiones colectivas	43
5.5. Investigación científica colaborativa	43
6. Proyectos y Plataformas DeAI Destacados	45
6.1. Bittensor	45
6.2. Ocean Protocol	46
6.3. SingularityNET	47
6.4. Fetch.AI	48
6.5. ASI Alliance	48
6.6. Análisis Comparativo de Plataformas	49
6.7. Retos y críticas actuales de las plataformas DeAI	51
7. Desafíos y Consideraciones Éticas	53
7.1. Escalabilidad y eficiencia energética	54
7.2. Privacidad y seguridad de datos	54
7.3. Interoperabilidad entre sistemas	55
7.4. Gobernanza y regulación	55
7.5. Implicaciones éticas y sociales	56
8. Tendencias Futuras y Perspectivas	57
8.1. Integración con tecnologías emergentes	57
8.2. Evolución de modelos de gobernanza	58
8.3. Democratización del desarrollo de IA	59
8.4. Impacto potencial en diversos sectores	60
9. Conclusiones	62
9.1. Resumen de hallazgos clave	62
9.2. Limitaciones del estudio	63
9.3. Recomendaciones para futuros proyectos	63
Bibliografía	65
Anexo	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Comparativa de Plataformas DeAI	15
Tabla 2.2. Hitos históricos en la evolución hacia la DeAI	16
Tabla 2.4: Comparativa entre modelos de IA centralizada y descentralizada	18
Tabla 3.5: Comparativa práctica de tecnologías habilitadoras en DeAI	31
Tabla 6.1: Comparativa de plataformas destacadas en el ecosistema DeAI	49
Tabla 6.2: Otros proyectos DeAI	50



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Logo oficial de Hashgraph	23
Figura 3.2: Ejemplo de Gráfico Acíclico Dirigido	24
Figura 3.3: Logo oficial de Holochain	25
Figura 3.4: Aprendizaje federado centralizado y aprendizaje federado descentralizado	26
Figura 3.5: Figura de Edge Computing	28
Figura 6.1: Logo oficial de Bittensor	46
Figura 6.2: Logo oficial de Ocean Protocol	46
Figura 6.3: Logo oficial de SingularityNET	47
Figura 6.4: Foto de Ben Goertzel con su robot Sophia	47
Figura 6.5: Logo oficial de Fetch.AI	48
Figura 6.6: Logo oficial de ASI Alliance	49
Figura 10.1: Logo oficial de Deep Funding	77
Figura A.1: Página de registro de Deep Funding	79
Figura A.2: Formulario de entrega de hitos sección inferior	83
Figura A.3: Formulario de entrega de hitos sección posterior	84



Capítulo 1

Introducción

1.1.- Contexto y motivación

En los últimos años, la tecnología ha avanzado significativamente con la llegada de la Web3, una etapa marcada por aplicaciones descentralizadas (dApps). Algunos ejemplos conocidos son Uniswap, una plataforma descentralizada que permite realizar intercambios financieros (tokens y criptomonedas) directamente entre usuarios mediante contratos inteligentes, eliminando intermediarios y proporcionando mayor transparencia y rapidez en las transacciones [1]; OpenSea, el mayor mercado descentralizado para la compra, venta e intercambio de NFTs (tokens no fungibles), que permite a creadores y coleccionistas negociar activos digitales únicos, garantizando autenticidad y propiedad mediante blockchain [2]; y Filecoin, un sistema descentralizado de almacenamiento digital basado en blockchain que facilita a los usuarios alquilar o compartir su espacio de almacenamiento sobrante, creando una alternativa segura, económica y resistente a la censura frente a los servicios tradicionales centralizados en la nube [3]. A diferencia de la Web2 (o Web 2.0),

donde la información estaba bajo el control de grandes empresas, la Web3 usa tecnologías como blockchain, contratos inteligentes y redes peer-to-peer para dar más poder a los usuarios sobre sus datos y cómo los utilizan.

Dentro de este contexto, surge la Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI). Esta nueva forma de entender la tecnología une lo mejor de la inteligencia artificial (IA) con la lógica descentralizada que propone la Web3 [4]. Tradicionalmente, el desarrollo y despliegue de tecnologías de inteligencia artificial han estado dominados por grandes corporaciones tecnológicas, quienes poseen recursos económicos, tecnológicos y bases de datos masivas. Esta acumulación de poder ha despertado muchas inquietudes en la sociedad, sobre todo por cómo afecta a la privacidad, la falta de control sobre nuestros datos, la transparencia y el dominio que ejercen unas pocas empresas tecnológicas.

David Brin, en su libro "The Transparent Society", expone con claridad el riesgo asociado al control centralizado de las tecnologías que gestionan grandes volúmenes de información y datos sensibles. Según Brin, una sociedad en la que pocas entidades poseen y controlan la vigilancia digital y los datos asociados, inevitablemente llevará a situaciones de desequilibrio, desconfianza y potencial abuso de poder. Frente a este peligro, Brin aboga por la "transparencia recíproca", un modelo social y tecnológico donde la supervisión y vigilancia no sean prerrogativa exclusiva de unas pocas corporaciones o gobiernos, sino que se extienda y democratice para todos los ciudadanos. Este modelo busca crear un equilibrio en el acceso y control de la información, facilitando la rendición de cuentas y fortaleciendo la confianza entre usuarios e instituciones [5].

La Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI) se alinea con este ideal al distribuir tanto los datos como los recursos computacionales entre un amplio conjunto de participantes. En lugar de depender exclusivamente de grandes centros de datos o empresas monopolísticas, la DeAI favorece redes distribuidas formadas por numerosos nodos independientes, donde cada participante aporta una fracción de recursos computacionales y datos. Esto no solo mejora la seguridad al eliminar puntos únicos de fallo o control, sino que también aumenta considerablemente la resistencia del sistema frente a ataques cibernéticos, manipulaciones o censura algorítmica.

Además, al quitar poder a los grandes centros de control, la DeAI ayuda a que el acceso a la información sea más justo y no dependa de quién tiene más recursos. Los individuos, startups, universidades y pequeñas empresas, que antes tenían barreras significativas para acceder a tecnologías avanzadas de inteligencia artificial debido a limitaciones económicas o tecnológicas, ahora pueden participar activamente. Gracias a este enfoque más abierto, la inteligencia artificial empieza a llegar a personas y comunidades que antes ni siquiera podían participar, permitiendo que las soluciones tecnológicas se adapten mejor a sus realidades.

Asimismo, la DeAI fomenta la creación de mecanismos de gobernanza colaborativos y transparentes. Brin hablaba de una transparencia que funcione en ambos sentidos. La DeAI recoge esa idea permitiendo que cualquier persona pueda saber cómo se usan sus datos, evitando que solo unos pocos tengan el control y obligando a actuar con más responsabilidad. En iniciativas como Ocean Protocol ya se está viendo cómo los usuarios pueden controlar sus propios datos y elegir libremente si quieren compartirlos, con quién y para qué [5].

En el fondo, la DeAI plantea una alternativa al sistema actual: un modelo más abierto y justo, que ayuda a frenar los abusos de poder y el control excesivo que algunas empresas tienen sobre nuestros datos.

Para lograrlo, la DeAI usa tecnologías como blockchain, aprendizaje federado y computación distribuida [6]. Esto permite crear un entorno más transparente, seguro y menos propenso a sesgos algorítmicos, asegurando una mejor representación de distintos actores en el desarrollo de tecnologías inteligentes.

1.2.- Justificación del estudio

Hablar hoy de Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI) es hablar de un cambio de rumbo frente al modelo dominante, una propuesta que busca distribuir el poder tecnológico, romper con la concentración de datos en manos de unas pocas corporaciones y dar paso a sistemas más abiertos, diversos y respetuosos con la privacidad. Pero al enfrentarse a esta idea, uno se encuentra con un panorama fragmentado: por un lado, publicaciones muy técnicas que apenas se entienden fuera del ámbito especializado; por otro, discursos demasiado generales que no bajan al terreno de lo práctico. En ese espacio intermedio, entre lo técnico y lo accesible, es donde este trabajo ha querido situarse.

Lo que hace distinto a este estudio no es solo su intención de explicar qué es la DeAI, sino cómo se está aplicando ya en el presente, qué implicaciones tiene para las personas, y por qué es importante entenderla como algo más que una moda tecnológica. A diferencia de otros enfoques centrados únicamente en los aspectos funcionales, aquí se ha querido abrir el foco para incluir también lo social, lo económico, lo ético y lo legal. Porque la descentralización no es solo una cuestión de arquitectura digital: también habla de cómo compartimos el poder, cómo se toman decisiones y quién tiene voz en ese proceso.

A lo largo del trabajo, se han analizado plataformas como Ocean Protocol, Bittensor o SingularityNET no desde un punto de vista meramente técnico, sino atendiendo a cómo están transformando la forma en que gestionamos los datos, entrenamos modelos o establecemos relaciones de confianza entre usuarios y desarrolladores. Estos casos ayudan

a aterrizar el concepto de DeAI y a mostrar que ya no estamos ante una idea futura, sino ante algo que está sucediendo ahora mismo.

Otro valor añadido de este trabajo es la atención que se le ha prestado a los retos actuales: la gobernanza, la interoperabilidad entre plataformas, y la necesidad urgente de marcos regulatorios claros que acompañen este avance sin frenarlo. Porque si no se gestionan bien estos aspectos, el riesgo es que la descentralización quede en manos de unos pocos, repitiendo los mismos errores que pretendía corregir.

En definitiva, este estudio intenta aportar una mirada más completa y realista sobre la DeAI, no desde la idealización, sino desde la observación crítica de lo que ya está en marcha. He intentado mirar este tema no solo desde la tecnología, sino también desde el impacto real que tiene en las personas, con la idea de aportar algo útil para entender este cambio que ya está en marcha.

1.3.- Objetivos del estudio

Objetivo general:

- Este estudio busca entender mejor la Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI), analizando cómo puede ampliar el acceso a la IA y transformar diferentes sectores económicos y sociales.

Objetivos específicos:

- Explicar qué es la DeAI y cómo ha evolucionado desde sistemas más tradicionales, señalando avances y desafíos clave.
- Investigar el papel de tecnologías como blockchain, aprendizaje federado y computación distribuida en el desarrollo de la DeAI y su relación con innovaciones recientes.
- Revisar cómo funcionan los sistemas DeAI en cuanto a gestión de datos, métodos de consenso y estrategias para mejorar la eficiencia y compatibilidad.
- Evaluar aplicaciones concretas de la DeAI en salud, finanzas, IoT y gobernanza, comparando con métodos tradicionales.
- Identificar desafíos técnicos, éticos y regulatorios, con énfasis en privacidad, equidad algorítmica y accesibilidad tecnológica.

- Analizar tendencias futuras de la DeAI, considerando su potencial impacto económico, tecnológico y regulatorio global.
- Examinar el rol de la gobernanza descentralizada en la IA, destacando modelos colaborativos para un desarrollo más justo y sostenible.

1.4.- Metodología de investigación

Desde el inicio, este trabajo se ha planteado como una búsqueda abierta más que como una investigación cerrada o estrictamente técnica. Al tratarse de un tema tan reciente como la Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI), se ha considerado necesario adoptar un enfoque exploratorio que permitiera indagar con libertad entre distintos puntos de vista y tipos de información. No se trata de llegar a una verdad definitiva, sino de entender mejor hacia dónde se dirige esta tecnología y qué implicaciones puede tener.

Para ello, me he apoyado en una mezcla de fuentes que va más allá de lo académico. Se han utilizado artículos científicos, pero también informes técnicos, documentación de plataformas activas, y reflexiones publicadas por profesionales del sector. Este cruce de información ha servido para no considerar únicamente la teoría, sino también a poner los pies en la realidad de lo que ya se está haciendo con DeAI en sectores como la salud, las finanzas o incluso la investigación abierta.

Se ha intentado no limitar el estudio a un solo enfoque metodológico. Por lo que se han combinado datos cuantitativos (como cifras sobre adopción tecnológica, uso de plataformas o distribución de recursos) con observaciones cualitativas más centradas en los casos concretos, los testimonios y los retos cotidianos que enfrentan los equipos que están detrás de estos desarrollos. Se ha observado especialmente cómo se organizan, cómo gestionan los datos, cómo interactúan entre sí y qué visión del futuro están construyendo.

También ha sido clave revisar el contexto normativo, sobre todo en Europa y Norteamérica, donde los marcos legales ya están empezando a delimitar lo que es posible o no en estos entornos. Estas decisiones pueden cambiar por completo el rumbo de la tecnología, así que entenderlas parece esencial para poder hablar con propiedad del presente y del futuro de la DeAI.

Otro tema que ha salido con fuerza durante la investigación es el de la interoperabilidad: cómo distintas plataformas y proyectos buscan comunicarse y colaborar sin perder su independencia. No es solo una cuestión de arquitectura técnica, también es una actitud: la

voluntad de sumar, de compartir conocimiento y de trabajar juntos para evitar que la descentralización acabe siendo solo una promesa vacía.

A modo de conclusión, he tratado de seguir una metodología que refleje el espíritu mismo de la DeAI: abierta, flexible, colaborativa y, sobre todo, conectada con la realidad de las personas que están impulsando este cambio.



Capítulo 2

Fundamentos de

la Inteligencia

Artificial

Descentralizada

2.1.- Definición y conceptos clave

La Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI) es una forma innovadora de utilizar la inteligencia artificial aplicando los principios de la descentralización propios de la Web3. En lugar de depender de una sola empresa o servidor que controle todos los datos y los modelos de IA, la DeAI se apoya en redes distribuidas formadas por distintos nodos independientes. Esta colaboración entre nodos evita que una única entidad tenga el control total sobre la información y los algoritmos [7].

El principal objetivo de la DeAI es hacer la inteligencia artificial más accesible para distintos tipos de usuarios, como desarrolladores particulares, investigadores o startups, sin necesidad de grandes infraestructuras privadas. Para conseguir esto, la DeAI utiliza varias tecnologías: blockchain, que aumenta la seguridad al distribuir la propiedad de los datos [8]; el aprendizaje federado, que permite entrenar modelos directamente en dispositivos

locales sin exponer información sensible [6]; y la computación distribuida, que distribuye el procesamiento entre muchos nodos, mejorando el rendimiento del sistema [9].

En la DeAI también destacan los contratos inteligentes, que facilitan colaboraciones automáticas entre personas, sin necesidad de intermediarios [10], y la tokenización, que ofrece recompensas económicas mediante criptomonedas o tokens digitales para motivar a los participantes [11]. Algunos ejemplos conocidos de este enfoque son SingularityNET, que conecta servicios descentralizados de IA mediante blockchain [12]; Ocean Protocol, que ayuda a compartir datos de manera segura sin perder privacidad [13]; y Bittensor, que facilita la colaboración abierta para mejorar los modelos de inteligencia artificial [14].

Profundizando en estos ejemplos, es posible ver cómo los principios tecnológicos de la DeAI ya están siendo utilizados en entornos reales. Ocean Protocol, por ejemplo, permite a los usuarios tokenizar conjuntos de datos y ponerlos a disposición de científicos, instituciones o empresas, quienes pueden acceder a ellos mediante pagos en tokens OCEAN [13]. Esto incentiva el intercambio de datos sin comprometer la privacidad, ya que los datos permanecen en origen y son accesibles solo bajo condiciones definidas por contratos inteligentes [16].

En el caso de Bittensor, se aprovechan las capacidades del aprendizaje federado y la computación distribuida para entrenar modelos de IA sin que los datos salgan de sus dispositivos de origen. Los participantes, conocidos como mineros o nodos de red, compiten y colaboran al mismo tiempo, aportando modelos que son evaluados en función de su calidad. Aquellos que ofrecen mejores resultados reciben incentivos económicos en forma del token TAO, lo que crea un mercado competitivo y descentralizado de IA [14].

Por su parte, SingularityNET, que anteriormente funcionaba como un mercado global de algoritmos con su propio token AGIX, ha evolucionado significativamente. Actualmente forma parte de la ASI Alliance (Artificial Superintelligence Alliance), una alianza estratégica que agrupa varias plataformas de inteligencia artificial descentralizada, incluyendo Fetch.AI y Ocean Protocol, con el objetivo de unir fuerzas y construir un ecosistema interoperable, colaborativo y más robusto.

Como parte de esta integración, el antiguo token AGIX, así como OCEAN (de Ocean Protocol) han sido reemplazados progresivamente por FET, y está previsto que en el futuro adopten el nombre común de ASI, reflejando la visión unificada del proyecto. Este cambio no solo representa una transición tecnológica, sino también un paso hacia una mayor cooperación dentro del ecosistema DeAI. La plataforma sigue ofreciendo un entorno abierto donde desarrolladores pueden desplegar sus modelos y servicios, ahora con un alcance más amplio y con el respaldo de una infraestructura más sólida y colaborativa [12].

Además, otros proyectos como OpenMined están explorando la integración de aprendizaje federado con herramientas educativas, permitiendo que personas de todo el mundo colaboren en entrenar modelos de forma privada desde sus propios dispositivos, sin exponer los datos. Esto es especialmente útil en sectores como la salud, donde la privacidad es prioritaria y los datos son muy sensibles [15].

Estos casos muestran que la DeAI no es solo una teoría o un modelo futuro, sino una realidad en construcción, apoyada en tecnologías que permiten nuevas formas de colaboración más justas, abiertas y seguras.

Además de analizar cada plataforma por separado, resulta útil visualizar sus diferencias en aspectos clave como la privacidad de los datos y la accesibilidad. La tabla 2.1 muestra una comparación entre las principales plataformas DeAI .

Tabla 2.1: Comparativa de Plataformas DeAI

Plataforma	Tecnología Base	Tipo de Incentivo	Enfoque Principal	Privacidad de Datos	Accesibilidad
SingularityNET (ASI Alliance)	Blockchain (Ethereum y Cosmos)	Token FET → ASI (antes: AGIX)	Ecosistema colaborativo y marketplace de servicios de IA	Moderada	Alta
Ocean Protocol (ASI Alliance)	Blockchain (Ethereum)	Token FET → ASI (Antes: OCEAN)	Intercambio seguro de datos para IA	Alta	Media
Bittensor	Blockchain + Aprendizaje Federado	Token TAO	Entrenamiento colaborativo y descentralizado de modelos	Alta	Alta
OpenMined	Aprendizaje Federado	No monetario (colaborativo)	Educación y entrenamiento privado de modelos	Muy alta	Alta

2.2.- Evolución histórica de la IA hacia la descentralización

La inteligencia artificial empezó su desarrollo en los años 50 con sistemas muy sencillos que dependían sobre todo de instituciones académicas y grandes compañías. Estos primeros sistemas utilizaban reglas simples y estaban limitados a pocas organizaciones que podían costear los recursos [11].

Tabla 2.2. Hitos históricos en la evolución hacia la DeAI

1950	Primeros sistemas de IA en instituciones académicas
1990	Expansión de Internet y dominio de grandes empresas tecnológicas en IA
2008	Se presenta el protocolo de Bitcoin, primera criptomoneda web3
2015	Lanzamiento de Ethereum, primera plataforma web3 programable
2015	Inicio de movimientos hacia la descentralización de la IA
2017	Google presenta el Aprendizaje Federado
2018	Lanzamiento de SingularityNET (IA sobre blockchain)
2020	Auge de proyectos como Bittensor centrados en IA descentralizada

El crecimiento de Internet en los años 90 multiplicó enormemente la cantidad de datos disponibles, impulsando avances significativos en la IA. Grandes empresas como Google, Amazon y Microsoft aprovecharon esta situación, adquiriendo un rol central al controlar los datos y recursos tecnológicos. Esto generó, no obstante, inquietudes relacionadas con la privacidad y la concentración del poder tecnológico [12].

Alrededor de 2015 comenzaron a aparecer nuevas iniciativas orientadas hacia una descentralización más profunda. Por ejemplo, en 2017 Google presentó el aprendizaje federado, permitiendo entrenar modelos en dispositivos locales, evitando el envío de datos privados a un servidor central [6]. Así se logró una colaboración más segura que protege mejor la privacidad de los usuarios.

Paralelamente, la llegada de blockchain y la Web3 impulsó aún más la descentralización total en IA. SingularityNET, por ejemplo, lanzó en 2018 una plataforma que permite ofrecer y consumir servicios de IA de manera directa mediante blockchain y contratos inteligentes, evitando la necesidad de intermediarios [7].

En los últimos años, la tendencia hacia una mayor descentralización ha seguido creciendo, con iniciativas como Bittensor, que buscan mejorar la privacidad, eficiencia y reducir sesgos algorítmicos mediante blockchain y aprendizaje federado [14]. El objetivo es hacer la inteligencia artificial más accesible y equitativa.

2.3.- Principios fundamentales de la DeAI

La Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI) se fundamenta en varios principios para mejorar aspectos como seguridad, transparencia y accesibilidad:

- Descentralización: La DeAI distribuye el control y gestión de los datos entre diferentes participantes. Esto evita que una sola organización domine toda la información, fortaleciendo así la estabilidad y seguridad del sistema.
- Privacidad: La privacidad es esencial en la DeAI. Técnicas como el aprendizaje federado permiten que los datos sensibles no salgan del dispositivo de los usuarios, evitando riesgos de privacidad y aumentando la confianza [6].
- Transparencia: La transparencia se logra con herramientas como blockchain y contratos inteligentes, que permiten registrar y verificar públicamente todas las operaciones realizadas en la red. Así se reduce la posibilidad de fraudes o manipulaciones.
- Incentivos económicos: Para fomentar la participación en redes descentralizadas, se usan incentivos económicos en forma de criptomonedas o tokens digitales. Estos incentivos motivan a los usuarios a colaborar, aportando datos o recursos útiles.
- Interoperabilidad: Este principio se centra en que los diferentes sistemas DeAI puedan comunicarse fácilmente entre ellos. Plataformas como Ocean Protocol y Polkadot destacan porque permiten integrar diversas soluciones tecnológicas en un mismo entorno colaborativo.
- Equidad algorítmica: La DeAI busca reducir sesgos en los algoritmos al promover una participación más diversa en el entrenamiento y desarrollo de modelos. Esto genera sistemas más justos, equilibrados y representativos para distintos sectores sociales y económicos [22].

2.4.- Comparación entre IA centralizada y descentralizada

En el contexto actual de rápida evolución tecnológica, resulta fundamental comparar los modelos IA centralizados y descentralizados para comprender sus implicaciones éticas, técnicas y sociales. Mientras que la inteligencia artificial centralizada concentra el poder de decisión, control y datos en unas pocas entidades, lo que puede generar sesgos, monopolios y vulneraciones de privacidad, la IA descentralizada apunta hacia un futuro más equitativo, donde los usuarios tienen autonomía sobre sus datos y participan activamente en el desarrollo y gobernanza de los sistemas. Realizar esta comparación permite identificar ventajas y desafíos de ambos enfoques, orientando hacia un modelo que potencie la transparencia, la colaboración y la justicia tecnológica en la sociedad global.

En la Tabla 2.4 se presenta una comparación clara entre los modelos de inteligencia artificial centralizada y los basados en DeAI (Inteligencia Artificial Descentralizada). La tabla refleja cómo la IA centralizada concentra el poder en manos de algunas corporaciones, mientras que la DeAI propone un enfoque más abierto, ético y colaborativo, respaldado por ejemplos reales como Ocean Protocol, Bittensor, SingularityNET y OpenMined.

Tabla 2.4: Comparativa entre modelos de IA centralizada y descentralizada

Aspecto	IA Centralizada	IA Descentralizada (DeAI)
Control de datos	Datos controlados por grandes empresas (ej. Facebook).	Los usuarios mantienen la propiedad de sus datos (ej. Ocean Protocol).
Privacidad y seguridad	Riesgo de hackeos y filtraciones masivas (ej. LinkedIn, Equifax).	Mayor seguridad gracias al almacenamiento local y tecnologías como blockchain.
Escalabilidad y eficiencia	Alta eficiencia inicial, pero vulnerable a fallos globales.	Carga distribuida sin cuellos de botella y mejora de la resiliencia (ej. Bittensor).
Transparencia y auditabilidad	Procesos opacos y difíciles de auditar (ej. IA en China).	Uso de blockchain permite auditoría pública y verificación.
Interoperabilidad	Ecosistemas cerrados y poco compatibles entre sí.	Facilita la colaboración entre tecnologías y comunidades (ej. SingularityNET).
Costes y accesibilidad	Accesible solo para corporaciones con recursos.	Modelos abiertos, con incentivos para pequeños desarrolladores.
Equidad y sesgos	Propensa a sesgos por falta de diversidad en el entrenamiento.	Mayor diversidad y participación reducen los sesgos (ej. OpenMined).

A lo largo de la evolución de la inteligencia artificial, los sistemas centralizados han dominado el panorama tecnológico. Sin embargo, esta centralización ha traído consigo consecuencias preocupantes en términos de privacidad, monopolio, sesgos y falta de control ciudadano. Frente a este modelo, la Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI) surge como una respuesta ética y técnica que propone una IA más transparente, accesible y justa. Sobre estas cuestiones cabe resaltar:

- Control y propiedad de los datos:** En los modelos centralizados, los datos personales acaban en manos de unas pocas corporaciones tecnológicas que los almacenan, procesan y monetizan sin un control real por parte de los usuarios. Este modelo no solo deja todo el poder en manos de unos pocos, sino que también hace que las personas pierdan el control sobre sus propios datos. Un ejemplo claro es el escándalo de Cambridge Analytica, donde Facebook permitió el uso indebido de datos de millones de usuarios con fines políticos [16]. En contraste, la DeAI propone una estructura donde los datos permanecen en control de cada individuo, gracias al aprendizaje federado y tecnologías como Ocean Protocol, que permite compartir información de forma segura sin ceder la propiedad de los datos [13].

- **Privacidad y seguridad:** La centralización implica puntos únicos de fallo: una brecha en los servidores de una gran compañía puede exponer millones de registros sensibles. Ejemplo de ello fue la filtración de datos personales de más de 500 millones de cuentas de LinkedIn [17]. En DeAI, los datos no se almacenan en un único servidor, sino que permanecen distribuidos en dispositivos locales, lo que dificulta ataques masivos. Tecnologías como el aprendizaje federado, combinadas con blockchain, ofrecen niveles de seguridad mucho más robustos y descentralizados [13].
- **Escalabilidad y eficiencia:** Aunque los sistemas centralizados suelen ser eficientes al principio, a gran escala muestran vulnerabilidades críticas: saturaciones, fallos en cascada y altos costes energéticos. En la pandemia, servicios de IA como los de Microsoft o Amazon Web Services sufrieron caídas por exceso de tráfico. La DeAI, en cambio, distribuye la carga entre múltiples nodos, como ocurre en el proyecto Bittensor, donde la red se entrena colectivamente y se adapta dinámicamente a la capacidad de cada nodo, logrando mayor resistencia ante fallos y evitando cuellos de botella [18].
- **Transparencia y auditabilidad:** La opacidad de los modelos centralizados dificulta la verificación de cómo se procesan los datos o como toman decisiones los algoritmos. Por ejemplo, el sistema de puntuación social de China, basado en IA opaca (controlada por el gobierno), ha sido ampliamente criticado por su falta de transparencia [19]. La DeAI, al apoyarse en blockchain y contratos inteligentes, permite auditar cada transacción y proceso, reduciendo así los riesgos de manipulación y corrupción algorítmica [12].
- **Interoperabilidad y colaboración:** La IA centralizada funciona como un jardín cerrado: empresas como Apple o Google construyen ecosistemas que no cooperan entre sí, limitando la innovación conjunta. En cambio, plataformas como Polkadot o SingularityNET permiten la interacción fluida entre distintas tecnologías y actores, promoviendo la colaboración global sin barreras comerciales o técnicas [12].
- **Costes y accesibilidad:** Desarrollar o usar IA centralizada requiere acceso a recursos costosos: grandes centros de datos, infraestructuras cloud y licencias privadas. Esto excluye a pequeños desarrolladores, investigadores y comunidades. Por el contrario, la DeAI democratiza el acceso mediante incentivos económicos y modelos abiertos. En SingularityNET, cualquier programador puede publicar y monetizar su modelo de IA sin intermediarios, y en OpenMined se puede colaborar en el desarrollo de IA sin salir de casa, usando recursos propios [20].

- **Equidad algorítmica y sesgos:** Una IA entrenada por pocas manos tiende a perpetuar sus mismos sesgos. Esto se ha evidenciado en sistemas de reconocimiento facial como los de Amazon Rekognition o Clearview AI, que mostraron errores graves al identificar a personas racializadas [21]. La DeAI, al basarse en participación abierta y diversidad de fuentes de datos, propone modelos más justos y representativos, reduciendo la discriminación algorítmica mediante una gobernanza colectiva y abierta [20].



Capítulo 3

Tecnologías Habilitadoras

El desarrollo y funcionamiento de la Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI) dependen de un conjunto de tecnologías que permiten su implementación de manera eficiente y segura. Estas tecnologías habilitadoras proporcionan la infraestructura necesaria para descentralizar el almacenamiento de datos, distribuir la computación y garantizar la privacidad y transparencia en los procesos de IA.

Entre las principales tecnologías que hacen posible la DeAI se encuentran blockchain y los contratos inteligentes, que permiten la automatización de acuerdos y la gestión descentralizada de la información. También destacan los sistemas de registro distribuido (DLT), alternativos a blockchain, como Hashgraph, DAG y Holochain, que presentan nuevas formas de estructurar y validar transacciones de datos sin la necesidad de intermediarios centralizados.

Además, el aprendizaje federado juega un papel clave en la DeAI al permitir entrenar modelos de IA sin compartir datos privados entre nodos, manteniendo la privacidad de los

usuarios. Por otro lado, la computación en la nube y en el borde (Edge Computing) facilita la descentralización del procesamiento de datos, optimizando la eficiencia de los modelos de IA en dispositivos distribuidos. Finalmente, la criptografía avanzada ofrece métodos para garantizar la seguridad de los datos y modelos mediante técnicas como pruebas de conocimiento cero (ZK-Proofs), criptografía homomórfica y firmas digitales.

En este capítulo se analizarán estas tecnologías habilitadoras, detallando su funcionamiento, aplicaciones dentro de la DeAI y los desafíos que enfrentan para lograr una adopción masiva.

3.1.- Blockchain y contratos inteligentes

Blockchain es una tecnología clave para la DeAI, ya que actúa como un registro digital inmutable accesible para todos los participantes, pero imposible de modificar sin consenso. Su estructura permite asegurar la integridad de los datos y proporciona una trazabilidad total de las operaciones [23].

En el contexto de la DeAI, blockchain se utiliza para asegurar el almacenamiento y el intercambio de datos, establecer trazabilidad en la evolución de modelos de IA y, sobre todo, para gestionar las interacciones entre agentes a través de contratos inteligentes. Estos contratos no son más que líneas de código que se ejecutan automáticamente cuando se cumplen determinadas condiciones, permitiendo automatizar pagos, licencias de uso, gobernanza participativa o distribución de recompensas entre colaboradores del sistema.

Un ejemplo concreto de uso son las plataformas como SingularityNET, donde los contratos inteligentes permiten a desarrolladores y usuarios intercambiar servicios de inteligencia artificial sin necesidad de una empresa intermediaria [24].

Limitaciones técnicas:

- Escalabilidad: en momentos de mucho uso, redes como Ethereum tienden a saturarse, lo que hace que todo funcione más despacio y que las comisiones por cada operación suban bastante [23].
- Consumo energético: algunos algoritmos de consenso, como Proof of Work, requieren una enorme cantidad de energía para validar bloques. Esto no es sostenible para aplicaciones que necesitan actualizarse con frecuencia, como ocurre con los sistemas de IA dinámicos.

- **Latencia:** en ciertos escenarios donde se requiere inmediatez en la toma de decisiones (por ejemplo, en IoT o vehículos autónomos), el tiempo que tarda en confirmarse una transacción puede ser un obstáculo considerable.
- **Interoperabilidad limitada:** muchas blockchains operan en silos. Aunque existen proyectos que buscan solventarlo (como Polkadot o Cosmos), la integración fluida entre distintas redes sigue siendo una tarea técnica compleja.

A pesar de estas limitaciones, el avance hacia blockchains de segunda y tercera generación (como Ethereum 2.0, Avalanche o Algorand) está reduciendo parte de estos problemas y ampliando el abanico de casos de uso viables para la DeAI.

3.2.- Tecnologías de Registro Distribuido (DLT). Alternativas a Blockchain

Aunque blockchain es el sistema de registro distribuido más conocido, no es el único. En los últimos años han surgido tecnologías alternativas agrupadas bajo el término DLT (Distributed Ledger Technologies) que también permiten descentralizar el almacenamiento y la validación de información, pero con enfoques distintos que priorizan la velocidad, eficiencia energética o flexibilidad estructural.

Estas tecnologías pueden resultar más adecuadas para ciertos escenarios de la Inteligencia Artificial Descentralizada, sobre todo en contextos donde se requiere alta escalabilidad, procesamiento paralelo o bajo consumo energético. A continuación, se presentan tres alternativas destacadas: Hashgraph, DAG (Gráfico Acíclico Dirigido) y Holochain.

3.2.1.- Hashgraph y su mecanismo de consenso Gossip

Hashgraph propone una arquitectura diferente a la de blockchain, utiliza un sistema basado en grafos (no organiza la información en bloques lineales) y un protocolo llamado "*gossip about gossip*" [25], que simula la propagación de rumores en una red social.

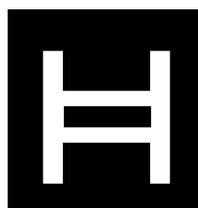


Figura 3.1: Logo oficial de Hashgraph

Cada nodo de la red "*chisnea*" con otros nodos sobre lo que sabe, y esta información incluye tanto los datos como el historial de a quién se lo dijo. De esta forma, el sistema puede llegar a un consenso asincrónico bizantino con gran rapidez y seguridad. Este enfoque permite validar miles de transacciones por segundo con un consumo energético muy bajo, lo que lo hace atractivo para aplicaciones DeAI que requieren respuesta rápida y eficiencia energética, como redes de sensores o agentes autónomos.

Aunque Hashgraph es eficiente, en la actualidad presenta una importante limitación, su implementación más conocida (Hedera Hashgraph) no es completamente descentralizada, ya que depende de un Consejo de Gobernanza que aprueba nodos validadores. Esto puede limitar su uso en entornos DeAI donde se busque máxima apertura y neutralidad.

3.2.2.- DAG (Gráfico Acíclico Dirigido) y su uso en DeAI

El DAG, o Gráfico Acíclico Dirigido, es otra alternativa al blockchain tradicional [26]. En lugar de una cadena lineal de bloques, las transacciones se conectan entre sí formando una red de nodos que valida múltiples operaciones de manera simultánea. Esta estructura permite procesamiento paralelo, lo que mejora notablemente la escalabilidad del sistema.

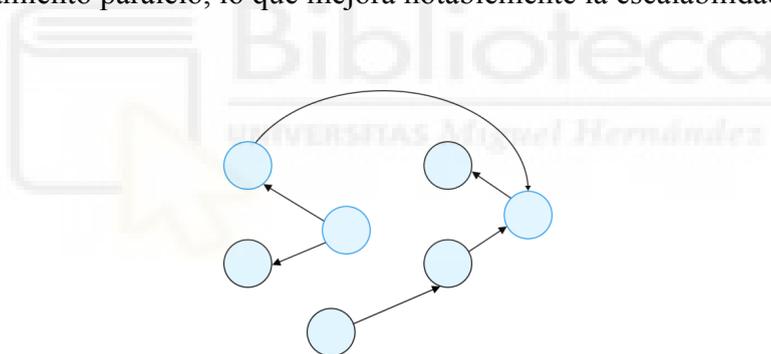


Figura 3.2: Ejemplo de Gráfico Acíclico Dirigido (fuente: [IBM](#))

Plataformas como IOTA han demostrado que el DAG es especialmente útil en aplicaciones IoT (Internet of Things) y en entornos de DeAI donde miles de dispositivos generan datos constantemente. Además, como cada transacción debe validar al menos dos anteriores, el sistema se vuelve más eficiente cuanto más se usa.

Los sistemas basados en DAG presentan algunas limitaciones técnicas:

- El modelo DAG requiere ciertos ajustes de coordinación para evitar bifurcaciones caóticas.
- Su seguridad aún está en evolución, ya que no todos los proyectos basados en DAG han superado ataques de red sin mecanismos centralizados de control.

3.2.3.- Holochain como alternativa a Blockchain

Holochain da un paso más allá, proponiendo un enfoque en el que no existe una cadena global de bloques compartida, sino que cada agente o nodo mantiene su propio historial de datos, sincronizándose solo cuando es necesario con otros nodos [27].



Figura 3.3: Logo oficial de Holochain

Este modelo reduce radicalmente el consumo energético, mejora la eficiencia en entornos con baja conectividad y favorece la privacidad, ya que los datos solo se comparten bajo demanda y en contextos específicos. Es una tecnología especialmente interesante para casos donde los usuarios necesiten control granular sobre su información o donde el sistema funcione en redes distribuidas y heterogéneas.

Actualmente, Holochain presenta las siguientes limitaciones:

- Holochain aún se encuentra en fase de maduración, con pocos casos de uso reales en producción.
- Su modelo rompe con tantos supuestos del blockchain clásico que todavía carece de estandarización, lo que dificulta su adopción generalizada.

Aunque estas tecnologías ofrecen formas más rápidas y eficientes de aplicar la DeAI, todavía arrastran retos importantes: desde cómo se coordinan, hasta cómo asegurar que sean compatibles con otras redes y realmente seguras.

3.3.- Aprendizaje federado

El aprendizaje federado es una técnica que permite entrenar modelos de inteligencia artificial sin necesidad de centralizar los datos. En lugar de recopilar toda la información en un único servidor, cada dispositivo o nodo entrena localmente una copia del modelo y comparte únicamente las actualizaciones de parámetros. Posteriormente, estos resultados se combinan en un modelo global más preciso y robusto [28].

Este enfoque es especialmente relevante para la DeAI, ya que ofrece una solución directa a uno de los grandes problemas de la IA tradicional: la privacidad de los datos. Al evitar que la información sensible salga del dispositivo, se reducen los riesgos asociados a

filtraciones, hackeos o accesos no autorizados. Por eso, su uso está creciendo en sectores críticos como la salud, la banca y el ámbito educativo.

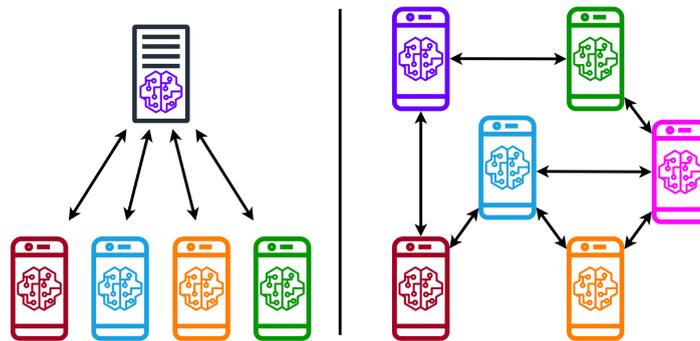


Figura 3.4: Aprendizaje federado centralizado y aprendizaje federado descentralizado

Un ejemplo real de su aplicación es el caso de Google, que utiliza esta técnica para mejorar el teclado predictivo de Android (Gboard). Cada teléfono entrena localmente un modelo basado en los hábitos del usuario, y luego se envían solo las actualizaciones, no los mensajes escritos. En el contexto de DeAI, esto se traduce en redes donde cada nodo aporta inteligencia sin sacrificar privacidad, ideal para arquitecturas abiertas y colaborativas.

3.3.1.- Aplicaciones en la DeAI

El aprendizaje federado es especialmente potente en escenarios donde los datos están muy distribuidos y son altamente sensibles [28]:

- En sistemas de salud, permite crear modelos predictivos entrenados en hospitales distintos sin compartir expedientes clínicos.
- En finanzas descentralizadas (DeFi), puede ayudar a construir sistemas de evaluación de riesgo que respeten el anonimato.
- En entornos IoT o ciudades inteligentes, permite aprovechar el potencial de sensores sin centralizar todos los datos en servidores vulnerables.

3.3.2.- Limitaciones técnicas actuales

Aunque el aprendizaje federado tiene un enorme potencial, aún enfrenta retos significativos [29]:

- Desbalance y heterogeneidad de los datos: no todos los nodos tienen la misma cantidad ni calidad de datos. Esto puede provocar sesgos o entrenamientos ineficientes si no se aplica una buena estrategia de agregación.
- Costes computacionales: entrenar modelos localmente puede ser exigente para dispositivos con poca capacidad (como móviles antiguos o sensores IoT).
- Problemas de sincronización: coordinar múltiples nodos en tiempo real, con conexiones dispares y ritmos de entrenamiento distintos, puede ralentizar el proceso global.
- Vulnerabilidad a ataques de modelo: aunque los datos no se comparten directamente, los gradientes o actualizaciones del modelo sí pueden ser analizados para inferir información privada, en lo que se conoce como ataques por inversión de gradiente.

Pese a estos desafíos, se están desarrollando mejoras como el uso de técnicas de diferencial de privacidad, encriptación homomórfica y agregación segura para aumentar la robustez del sistema sin comprometer la eficiencia.

En el ecosistema DeAI, el aprendizaje federado no solo mejora la privacidad, sino que democratiza la participación en el desarrollo de modelos, permitiendo que cada nodo contribuya activamente a la inteligencia colectiva de la red.

3.4.- Computación en la Nube y Edge Computing

En un entorno descentralizado como el de la DeAI, el lugar donde se procesan los datos es tan importante como los propios datos. Dos tecnologías clave que permiten ese procesamiento de manera eficiente y escalable son la computación en la nube (cloud computing) y la computación en el borde (edge computing).

Ambas permiten distribuir la carga de trabajo sin necesidad de depender de un único servidor central, algo fundamental en sistemas que deben operar en tiempo real, manejar grandes volúmenes de datos y respetar la privacidad del usuario [23].

3.4.1.- Computación en la nube: potencia remota bajo demanda

La computación en la nube permite acceder a recursos informáticos (almacenamiento, procesamiento, bases de datos) a través de Internet desde cualquier parte del mundo.

Plataformas como Amazon Web Services (AWS), Google Cloud o Microsoft Azure ofrecen servicios a escala que permiten entrenar modelos complejos de IA sin necesidad de infraestructura física local.

En el contexto de la DeAI, esta tecnología se usa como "refuerzo escalable": por ejemplo, si una red descentralizada no dispone de potencia suficiente en un momento dado, puede apoyarse puntualmente en la nube para acelerar el entrenamiento de modelos o almacenar resultados intermedios. También resulta útil para tareas más pesadas como el entrenamiento inicial de redes neuronales profundas.

Limitaciones actuales:

- Aunque es flexible y potente, la nube sigue siendo un entorno centralizado, lo que contradice parcialmente los principios de la DeAI.
- Además, puede implicar costes elevados si se utiliza de forma intensiva o continua, especialmente para proyectos colaborativos con presupuestos ajustados.
- También hay implicaciones legales, los datos pueden almacenarse en servidores ubicados en otros países, lo que genera dudas sobre jurisdicción y cumplimiento normativo.

3.4.2.- Edge Computing: el procesamiento se acerca al origen

La computación en el borde propone justo lo contrario: llevar el procesamiento de datos al mismo lugar donde estos se generan. En vez de enviar datos a la nube, los dispositivos procesan parte de la información localmente. Esto es especialmente útil para sensores IoT, drones, cámaras inteligentes, o incluso teléfonos móviles.

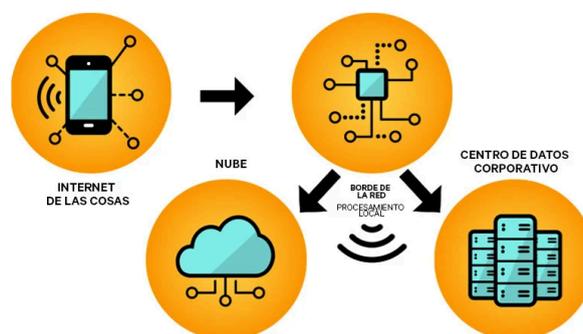


Figura 3.5: Figura de Edge Computing (fuente: [vertiv](#))

La ventaja más clara es la reducción de la latencia, si un coche autónomo necesita tomar una decisión en milisegundos, no puede depender de una conexión remota. Además, al procesar los datos localmente, se mejora también la privacidad, ya que no se expone la información a redes externas.

En entornos DeAI, el edge computing permite construir redes de inteligencia locales, en las que cada nodo no solo almacena datos, sino que también toma decisiones autónomas o entrena pequeños modelos adaptados al contexto.

El edge computing también tiene algunos inconvenientes que se deben considerar:

- Los dispositivos en el borde suelen tener capacidades limitadas (memoria, batería, potencia de cálculo).
- Requieren algoritmos ligeros y optimizados para poder funcionar sin agotar los recursos del sistema.
- El mantenimiento y actualización del software en miles de dispositivos puede ser muy complejo.

La combinación estratégica entre cloud y edge es una de las claves para el éxito de sistemas DeAI funcionales. Mientras la nube ofrece músculo, el borde aporta agilidad y privacidad. Bien diseñados, estos entornos híbridos permiten una inteligencia artificial distribuida, adaptable y mucho más cercana a la realidad del usuario.

3.5.- Criptografía avanzada

En los sistemas de Inteligencia Artificial Descentralizada, proteger la privacidad, asegurar que los datos no se alteren y verificar quién está participando es fundamental. Para lograrlo, se usan técnicas de criptografía avanzada que permiten que todo funcione sin poner en riesgo la información sensible. En esta parte se explican tres de las más importantes: las pruebas de conocimiento cero, la criptografía homomórfica y las firmas digitales (incluidas las firmas en anillo).

3.5.1.- Pruebas de Conocimiento Cero (ZK-Proofs)

Las pruebas de conocimiento cero (también llamadas ZK o zero-knowledge) permiten que alguien demuestre que sabe algo (por ejemplo, que tiene una credencial válida) sin tener que mostrar realmente esa información. Son muy útiles cuando hace falta verificar algo sin poner en riesgo la privacidad de quien lo demuestra [31].

En la DeAI, este tipo de pruebas se usan, por ejemplo, cuando un nodo quiere demostrar que ha entrenado bien un modelo o que tiene ciertos datos, sin necesidad de mostrarlos. También pueden utilizarse en sistemas de gobernanza para votar de forma anónima, pero que se pueda comprobar que el voto es válido.

Algunos problemas actuales que aún presentan este tipo de pruebas son:

- Necesitan hacer cálculos bastante complejos, lo que puede hacer que el sistema vaya más lento o consuma muchos recursos.
- Su implementación todavía no está estandarizada en muchas plataformas blockchain, lo que dificulta su adopción masiva.

3.5.2.- Criptografía homomórfica

La criptografía homomórfica va un paso más allá, permite realizar cálculos sobre datos cifrados, y obtener resultados que, al descifrarse, son equivalentes a haber hecho esos cálculos sobre los datos originales. Es decir, se puede procesar información sin necesidad de verla [30].

Esto resulta muy valioso en sectores donde se necesita trabajar con datos sensibles, como la salud, el ámbito financiero o las investigaciones científicas. En DeAI, puede facilitar el entrenamiento de modelos colaborativos sin que los nodos tengan que revelar sus datos, lo que encaja perfectamente con los principios de privacidad y soberanía de datos.

También la criptografía homomórfica presenta, a día de hoy, algunas limitaciones:

- Es una técnica aún muy costosa computacionalmente, sobre todo en escenarios de uso intensivo o en dispositivos con pocos recursos.
- La versión completamente homomórfica (FHE) sigue en desarrollo activo, y su rendimiento todavía está por debajo de los niveles necesarios para una adopción generalizada.

3.5.3.- Firmas digitales y firmas en anillo

Las firmas digitales permiten verificar la identidad del emisor de una transacción o mensaje y garantizar que no se ha modificado en el proceso. Son esenciales para establecer confianza en redes descentralizadas [32].

En la DeAI, cada nodo puede firmar sus actualizaciones, modelos o votos de manera que cualquier otro pueda verificar su autenticidad sin necesidad de confiar en un tercero.

Lo interesante de las firmas en anillo es que permiten ocultar quién ha firmado un mensaje dentro de un grupo. Así, aunque se sepa que alguien del grupo lo hizo, no se puede saber exactamente quién.

Algunos inconvenientes que aún hay que abordar son:

- Las firmas en anillo, si no están bien implementadas, pueden dar lugar a riesgos de trazabilidad o ataques de análisis estadístico.
- Algunos sistemas con muchas capas criptográficas pueden ralentizar procesos que requieren inmediatez, como respuestas en tiempo real.

La criptografía no solo protege, también hace posible que podamos confiar en los sistemas descentralizados. Por eso, cada vez tiene un papel más importante en el desarrollo de la DeAI.

Tabla 3.5: Comparativa práctica de tecnologías habilitadoras en DeAI

Tecnología	Ventajas principales	Limitaciones actuales
Blockchain y contratos inteligentes	<ul style="list-style-type: none"> ● Alta transparencia y trazabilidad ● Automatización de acuerdos ● Seguridad robusta 	<ul style="list-style-type: none"> ● Problemas de escalabilidad y latencia ● Consumo energético elevado en algunos consensos (PoW) ● Interoperabilidad aún limitada
DLT Alternativas (Hashgraph, DAG, Holochain)	<ul style="list-style-type: none"> ● Alta eficiencia y escalabilidad ● Bajo consumo energético ● Procesamiento paralelo 	<ul style="list-style-type: none"> ● Falta de estandarización ● Algunas no son completamente descentralizadas ● Seguridad aún en evaluación
Aprendizaje federado	<ul style="list-style-type: none"> ● Protección de datos sensibles ● Mejora la diversidad de entrenamiento ● Ideal para IoT y salud 	<ul style="list-style-type: none"> ● Dificultad para coordinar nodos heterogéneos ● Vulnerabilidad a ataques sobre gradientes ● Costes en dispositivos limitados
Computación en la nube	<ul style="list-style-type: none"> ● Alta capacidad de procesamiento ● Acceso flexible a gran escala ● Soporte para modelos complejos 	<ul style="list-style-type: none"> ● Dependencia de servicios centralizados ● Costes económicos recurrentes ● Riesgos legales por localización de datos
Edge Computing	<ul style="list-style-type: none"> ● Baja latencia ● Mejora la privacidad ● Autonomía de los nodos 	<ul style="list-style-type: none"> ● Limitaciones de hardware local ● Necesidad de algoritmos ligeros ● Complejidad en actualizaciones remotas
Criptografía avanzada	<ul style="list-style-type: none"> ● Alta seguridad sin comprometer privacidad ● Validación sin revelar información ● Refuerza la confianza en entornos abiertos 	<ul style="list-style-type: none"> ● Elevado coste computacional (especialmente ZK y FHE) ● Tecnología aún en evolución ● Complejidad de implementación

Capítulo 4

Arquitectura y Componentes de Sistemas DeAI

4.1.- Modelos de datos descentralizados

En los sistemas de Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI), los datos ya no se concentran en un único servidor bajo el control de una gran empresa. En cambio, se distribuyen entre múltiples participantes de la red, lo que permite una mayor privacidad, seguridad y control individual sobre la información. Este enfoque rompe con el modelo tradicional donde los usuarios entregaban sus datos sin apenas saber cómo eran utilizados o almacenados.

Una de las formas más conocidas de aplicar este modelo es el aprendizaje federado. En lugar de enviar los datos a un servidor central para entrenar modelos de IA, el aprendizaje federado permite que ese entrenamiento ocurra directamente en los dispositivos de los usuarios. Así, los datos nunca salen del lugar donde se originan. Lo que se comparte son únicamente las mejoras que cada dispositivo aporta al modelo, sin revelar los datos en sí.

Este sistema ya ha sido utilizado por empresas como Google para mejorar el reconocimiento de voz en Android sin comprometer la privacidad de los usuarios [28].

Otro ejemplo claro de este enfoque es Ocean Protocol, una plataforma que aprovecha la tecnología blockchain para facilitar el intercambio seguro de datos. En Ocean, los usuarios pueden poner a disposición conjuntos de datos sin perder su control sobre ellos. A través de un sistema de permisos y recompensas, se pueden compartir datos útiles para entrenar modelos de IA sin que la información quede expuesta ni en manos de terceros [13].

Este modelo distribuido tiene un beneficio adicional, reduce el riesgo de ataques masivos. Cuando los datos están centralizados, un solo fallo puede comprometer millones de registros, como ocurrió en el famoso caso de Equifax en 2017, donde se filtraron datos personales de casi 150 millones de personas [33]. En sistemas descentralizados, los datos están fragmentados y bajo el control de cada usuario, lo que hace mucho más difícil que un atacante pueda acceder a grandes volúmenes de información a la vez.

En definitiva, los modelos de datos descentralizados no solo mejoran la seguridad y la privacidad, sino que también permiten una participación más justa y controlada de los usuarios en el ecosistema de la inteligencia artificial.

4.2.- Protocolos de consenso

Uno de los elementos esenciales en los sistemas descentralizados es la manera en la que se alcanzan acuerdos entre los participantes. Esto se logra a través de los llamados protocolos de consenso, mecanismos que permiten que todos los nodos de la red se pongan de acuerdo sobre el estado actual de los datos o sobre una decisión específica, sin necesidad de una autoridad central que lo valide.

El protocolo más conocido es el Proof of Work (PoW), utilizado inicialmente por Bitcoin. En este sistema, los nodos compiten por resolver complejos problemas matemáticos; el primero que lo logra, valida la transacción. Aunque es seguro, también es extremadamente costoso en términos de energía, lo que ha llevado a muchas críticas medioambientales [34].

Como alternativa, surgieron modelos como Proof of Stake (PoS), donde los participantes que tienen una mayor cantidad de tokens en la red tienen más probabilidades de validar bloques. Este método es mucho más eficiente energéticamente y ya ha sido adoptado por plataformas como Ethereum 2.0 [31].

Pero hay otras propuestas aún más innovadoras. Por ejemplo, el sistema Hashgraph, en lugar de agrupar datos en bloques como en una blockchain tradicional, utiliza un

mecanismo llamado "gossip about gossip". Los nodos se comunican entre sí compartiendo eventos y el historial de con quién han hablado, lo que permite alcanzar consenso de forma muy rápida y con un consumo energético muy bajo [25].

La elección de un protocolo de consenso no es trivial. Depende de muchos factores: la velocidad que necesita el sistema, el número de participantes, el tipo de datos que se manejan y, por supuesto, el nivel de seguridad requerido. En la DeAI, donde las decisiones pueden influir directamente en la evolución de un modelo de inteligencia artificial, es fundamental elegir un método de consenso que sea confiable, eficiente y resistente a manipulaciones.

Por consiguiente, los protocolos de consenso son el pegamento que mantiene unida la estructura descentralizada. Sin ellos, la colaboración entre nodos sería caótica o directamente inviable.

4.3.- Redes de nodos y computación distribuida

En la Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI), no existe un servidor central que se encargue de todo el procesamiento. En su lugar, se utiliza un enfoque basado en computación distribuida, donde múltiples dispositivos, conocidos como nodos, se reparten la carga de trabajo. Esta estructura permite ejecutar tareas complejas de forma más eficiente, escalable y resistente a fallos.

Pensemos en cómo funciona una red como Golem. Esta plataforma permite que cualquier persona pueda alquilar la potencia de su ordenador para resolver problemas complejos, como renderizar gráficos 3D o entrenar modelos de inteligencia artificial. En lugar de depender de un gran centro de datos, Golem crea una red global de ordenadores interconectados que colaboran entre sí [35].

Este modelo tiene varias ventajas claras. La primera es la resiliencia. Si un nodo falla o se desconecta, otros pueden continuar el proceso sin que el sistema se detenga. Esto contrasta con los entornos centralizados, donde una caída del servidor principal puede paralizar toda una plataforma.

La segunda ventaja es la eficiencia. Al distribuir las tareas entre muchos nodos, se pueden realizar cálculos en paralelo, reduciendo significativamente los tiempos de procesamiento. Además, al usar recursos que ya existen, como ordenadores personales o servidores infrautilizados, se evita la necesidad de construir nuevas infraestructuras costosas.

Y por supuesto, está la cuestión de la privacidad. En los modelos distribuidos, los datos pueden procesarse localmente, sin necesidad de enviarlos a un servidor central, lo que disminuye los riesgos de exposición o fuga de información sensible.

Sin embargo, también hay desafíos. Coordinar miles de nodos que están repartidos por todo el mundo no es tarea fácil. Es necesario garantizar que cada nodo funcione correctamente, que se mantenga la integridad de los datos y que se repartan las recompensas de forma justa. Aquí entran en juego las tecnologías de registro distribuido (DLTs) como blockchain, que ayudan a registrar las contribuciones de cada nodo de forma transparente y confiable.

En definitiva, las redes de nodos y la computación distribuida son la columna vertebral de la DeAI. Sin ellas, sería imposible sostener un sistema que funcione de forma abierta, segura y sin intermediarios centralizados.

4.4.- Interfaces de usuario y aplicaciones descentralizadas (dApps)

Por muy avanzadas que sean las tecnologías que hay detrás de la DeAI, de poco sirven si los usuarios no pueden interactuar con ellas de forma sencilla. Aquí es donde entran en juego las interfaces de usuario y las aplicaciones descentralizadas, también conocidas como dApps.

Una dApp es, en esencia, una aplicación como cualquier otra: tiene una interfaz gráfica, botones, menús y funcionalidades. La diferencia está en lo que ocurre por detrás. En lugar de conectarse a servidores centralizados, estas aplicaciones funcionan sobre redes blockchain u otras infraestructuras descentralizadas. Es decir, el control no lo tiene una empresa ni una entidad concreta, sino que está repartido entre los participantes de la red.

Algunos ejemplos ya conocidos de dApps son Uniswap, una plataforma para intercambiar criptomonedas sin intermediarios, o OpenSea, el mayor mercado de NFTs del mundo. Ambas permiten a los usuarios realizar operaciones complejas de forma directa, sin tener que confiar en terceros para gestionar sus activos digitales [1][2].

Pero las dApps no solo sirven para finanzas o arte digital. En el contexto de la DeAI, pueden ser la puerta de entrada a servicios de inteligencia artificial accesibles y transparentes. Por ejemplo, una plataforma descentralizada podría ofrecer modelos de IA que analicen datos de salud o den recomendaciones educativas, permitiendo a los usuarios controlar qué datos comparten, con quién y para qué fin.

El verdadero desafío es que estas herramientas tengan interfaces fáciles de usar, sobre todo si se quiere llegar a más gente. Muchas dApps todavía exigen entender cosas como claves privadas, tokens o transacciones en blockchain, lo que puede echar para atrás a quienes no están familiarizados con el mundo cripto.

Por ello, muchos proyectos están empezando a centrarse en mejorar la experiencia de usuario. Iniciativas como Metamask (una billetera digital que se integra fácilmente con navegadores web) han demostrado que es posible simplificar el acceso a herramientas descentralizadas sin renunciar a la seguridad.

En el fondo, las dApps son la manera en que la descentralización puede llegar realmente a la gente. Si están bien diseñadas, pueden hacer de puente entre toda la tecnología que hay detrás de la DeAI y las necesidades reales del día a día..

4.5.- Seguridad y Privacidad en DeAI

En un mundo donde los datos son uno de los recursos más valiosos, hablar de seguridad y privacidad en sistemas descentralizados no es opcional, es una necesidad. La Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI) plantea un enfoque diferente al tradicional, donde los datos no se almacenan en un único servidor centralizado, sino que se reparten entre nodos distribuidos, lo que reduce considerablemente los riesgos de fuga masiva de información.

Este diseño tiene ventajas evidentes, pero también trae nuevos desafíos. La distribución de los datos complica la vigilancia tradicional, la detección de amenazas centralizadas o la actualización urgente de parches de seguridad. Sin embargo, existen soluciones innovadoras que ya están marcando el camino.

Por ejemplo, en el mundo real hemos visto ataques masivos que revelan los peligros de la centralización. El caso de Equifax en 2017 es uno de los más citados: una vulnerabilidad no parcheada en sus servidores permitió el robo de datos personales de 147 millones de personas, incluidos números de la seguridad social, fechas de nacimiento y direcciones [33]. Este ataque no solo expuso la fragilidad de los sistemas centralizados, sino también el impacto social y económico de no proteger adecuadamente la información sensible.

En contraposición, plataformas como MedBloc demuestran el potencial de la DeAI. MedBloc permite a los pacientes controlar quién accede a su historial médico, usando tecnología blockchain para gestionar los permisos de forma segura y transparente [7]. Aquí, la información no está en manos de una institución, sino bajo el control directo del usuario.

Otro caso interesante es el ya citado de Ocean Protocol, que permite compartir conjuntos de datos útiles para entrenar modelos de IA sin exponer la información original. Esto se logra mediante un sistema de data tokens y control granular de acceso, los datos nunca abandonan su origen; lo que circula es el acceso autorizado, no la información en sí [13].

Además, se están usando tecnologías como las pruebas de conocimiento cero (ZK-Proofs) para verificar que un nodo cumple una condición (por ejemplo, que tiene autorización para acceder a ciertos datos) sin necesidad de revelar la información. Estas técnicas avanzadas permiten mantener la confidencialidad incluso en entornos colaborativos, donde múltiples partes trabajan sobre los mismos modelos [31].

Por último, otro riesgo clave en los sistemas de IA es la manipulación de modelos. En un entorno centralizado, un solo actor con acceso al servidor puede alterar el comportamiento del algoritmo sin que nadie lo note. La DeAI mitiga esto mediante el uso de blockchain, donde cada actualización del modelo puede ser registrada y auditada públicamente. Esto añade una capa de confianza que los sistemas tradicionales simplemente no ofrecen.

Al final, la seguridad y la privacidad no son solo cuestiones técnicas en la DeAI, también son una forma de proteger los derechos de las personas. Son los elementos que permiten que los usuarios confíen, colaboren y, sobre todo, participen activamente en el desarrollo de un nuevo paradigma tecnológico más justo y transparente.

4.6.- Interoperabilidad entre sistemas

Uno de los retos más complejos, y a la vez más cruciales, de la Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI) es la interoperabilidad. En un ecosistema donde cada plataforma puede usar su propia infraestructura, blockchain, protocolo de datos o arquitectura de red, es esencial que todas esas piezas puedan comunicarse entre sí de manera fluida. Si no, la descentralización corre el riesgo de convertirse en fragmentación.

Para que la DeAI alcance todo su potencial, los modelos, los datos y los servicios deben poder "hablar el mismo idioma", incluso si se desarrollaron en entornos técnicos muy distintos. Por eso, varios proyectos ya están trabajando en resolver este problema con enfoques innovadores.

Uno de los más relevantes es Polkadot, una red que permite la interoperabilidad entre múltiples blockchains mediante lo que se conoce como "*parachains*". Cada parachain es una cadena de bloques independiente, pero todas se comunican a través de una cadena central llamada Relay Chain. Gracias a este diseño, datos o contratos inteligentes pueden moverse entre distintas redes de forma segura y sin fricciones [17].

Otro caso interesante es Cosmos, que utiliza un protocolo llamado Inter-Blockchain Communication (IBC). Este protocolo permite que blockchains completamente distintas (por ejemplo, una que gestiona tokens y otra que entrena modelos de IA) puedan intercambiar información de forma directa, como si fueran aplicaciones dentro del mismo sistema operativo [36].

En el ámbito específico de la IA, plataformas como SingularityNET y Ocean Protocol ya están colaborando para facilitar un ecosistema en el que los datos (Ocean) y los modelos (SingularityNET) puedan integrarse fácilmente. Supongamos, por ejemplo, un modelo de predicción médica entrenado con datos protegidos de Ocean y desplegado en tiempo real a través de un servicio de IA de SingularityNET. Esa es la interoperabilidad en acción.

Para hacer esto posible, se utilizan herramientas como APIs comunes, estándares abiertos (como los tokens ERC-20 o ERC-721 en Ethereum), y middleware como Chainlink, que actúa como un puente entre el mundo real y los smart contracts. Chainlink permite que los contratos inteligentes accedan a datos externos fiables, por ejemplo, resultados de sensores, precios de mercado o predicciones climáticas, lo que amplía enormemente su utilidad [37].

En síntesis, la interoperabilidad es la clave para que la DeAI no se quede encerrada en silos tecnológicos. Si se logra que las distintas piezas se conecten de forma armoniosa, será posible construir verdaderos sistemas inteligentes colaborativos, donde cada proyecto, red o aplicación aporte valor al conjunto sin depender de una única infraestructura.

4.7.- Gestión energética y sostenibilidad

Uno de los aspectos más debatidos sobre las tecnologías descentralizadas, y también uno de los más críticos, es su impacto energético. A medida que crecen las redes blockchain y se adoptan modelos de Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI), también lo hace el consumo de energía necesario para mantener estos sistemas funcionando. La sostenibilidad, por tanto, se ha convertido en un tema clave.

La preocupación no es infundada. El mecanismo de consenso Proof of Work (PoW), utilizado por Bitcoin durante años, ha sido duramente criticado por su elevado gasto energético. Solo en 2021, se estimó que la red Bitcoin consumía más electricidad al año que países enteros como Argentina o Países Bajos [34]. Este tipo de modelos no son viables a largo plazo si se quiere construir una DeAI que sea escalable y, al mismo tiempo, respetuosa con el medio ambiente.

Por este motivo, muchas plataformas están migrando hacia alternativas más sostenibles como Proof of Stake (PoS), que reduce drásticamente el consumo energético al sustituir el poder computacional por participación económica. Ethereum, por ejemplo, ha hecho esta transición con su actualización conocida como “*The Merge*”, disminuyendo su consumo energético en más de un 99% [31].

Pero no solo se trata del mecanismo de consenso. También entra en juego cómo se distribuye la computación. Aquí es donde cobra protagonismo el edge computing, una estrategia que lleva el procesamiento más cerca del lugar donde se generan los datos, como sensores o dispositivos IoT, evitando enviar constantemente información a grandes centros de datos. Este modelo no solo mejora la eficiencia, sino que reduce el tráfico de red y el gasto energético asociado al transporte de datos [2].

Por otro lado, tecnologías emergentes como Hashgraph ofrecen una alternativa al blockchain tradicional, con un mecanismo de consenso basado en el protocolo gossip about gossip que permite procesar miles de transacciones por segundo con un consumo energético muy inferior [25].

En definitiva, si bien la descentralización puede parecer en principio más costosa en términos de energía, lo cierto es que existen caminos reales y en marcha para hacerla más sostenible. La clave está en elegir las arquitecturas adecuadas y combinar tecnologías que prioricen la eficiencia sin sacrificar la seguridad ni la descentralización.

Capítulo 5

Casos de Uso y Aplicaciones

Aunque la Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI) puede sonar como una idea futurista, lo cierto es que ya está en marcha y dejando huella en sectores muy diversos. Desde el sistema financiero hasta la salud o la investigación científica, cada vez más proyectos reales muestran cómo la descentralización no solo es viable, sino también deseable. Este capítulo recoge algunos de los casos de uso más relevantes, ilustrando con ejemplos concretos cómo la DeAI se aplica en la práctica y qué impacto está generando ya.

5.1.- Finanzas descentralizadas (DeFi)

Durante mucho tiempo, acceder a servicios financieros ha sido complicado por culpa de barreras como vivir lejos de una sucursal, tener que pasar por demasiados trámites o depender siempre de bancos u otras instituciones. Obtener un préstamo, por ejemplo, suele implicar demostrar ingresos estables, contar con un historial crediticio favorable y superar

múltiples filtros administrativos. De igual forma, participar en inversiones muchas veces requiere el respaldo de entidades financieras que imponen comisiones, restricciones y procesos complejos.

Con la llegada de las finanzas descentralizadas (DeFi), muchas de estas limitaciones están comenzando a desaparecer. En la actualidad, más de 90.000 millones de dólares están bloqueados en protocolos DeFi como Aave, Compound, Uniswap o MakerDAO, permitiendo a millones de personas operar sin bancos, con transparencia y sin fronteras [38].

Uno de los aspectos más revolucionarios es el uso de contratos inteligentes: pequeños programas que ejecutan automáticamente los acuerdos financieros entre las partes. Así, alguien en Nigeria puede prestar dinero a alguien en Argentina, sin conocerse, sin bancos, y con garantías automatizadas. Como lo explicó Stani Kulechov, fundador de Aave: *"La idea es que no haya un banco que decida quién puede acceder al dinero. Es la comunidad la que establece las reglas. Es dinero por y para la gente"* [39].

Este modelo está creciendo especialmente en países con inflación alta o con baja bancarización, como Venezuela, Argentina o Filipinas. En estos contextos, DeFi ofrece una alternativa real y funcional a un sistema financiero que muchas veces excluye más de lo que integra.

Sin embargo, el sector no está exento de riesgos. La falta de regulación, la posibilidad de fallos en los contratos inteligentes y la volatilidad de los activos implican que aún hay mucho por construir. Aun así, el crecimiento y la innovación que estamos viendo son una señal clara de que las finanzas descentralizadas no son una moda, sino un nuevo paradigma.

5.2.- Salud y medicina personalizada

Aunque en muchos países los historiales médicos ya están digitalizados, todavía persisten ciertas limitaciones cuando se trata de compartir esa información entre distintos centros o sistemas sanitarios. Es común que, al acudir a un nuevo especialista o cambiar de hospital, algunos datos no estén disponibles de forma inmediata, lo que obliga a los pacientes a repetir información que ya debería estar registrada. Esta falta de interoperabilidad entre plataformas puede afectar la calidad y continuidad de la atención médica.

Aquí es donde tecnologías como blockchain ofrecen un enfoque interesante: permitir que los propios pacientes controlen sus datos médicos y otorguen acceso a profesionales autorizados de forma segura, sin depender de infraestructuras centralizadas o trámites

engorrosos. Con un permiso digital, por ejemplo, un médico de urgencias en otra ciudad o país podría consultar el historial clínico completo en segundos, algo que, en situaciones críticas, puede marcar la diferencia [84].

La DeAI, en combinación con blockchain y el aprendizaje federado, ofrece una solución tangible: historias clínicas descentralizadas y bajo control del paciente, donde los datos se almacenan de forma segura, se comparten solo cuando es necesario y se usan para entrenar modelos predictivos sin violar la privacidad.

Proyectos como Medbloc en Asia o Patientory en Estados Unidos están desarrollando plataformas donde cada persona puede tener acceso seguro a su expediente médico completo, decidir con quién compartirlo y recibir recomendaciones personalizadas basadas en IA sin entregar sus datos a terceros [40]. En palabras del Dr. Sang-Min Lee, del Hospital General de Seúl *"La privacidad ya no es un lujo, es una necesidad clínica. Los pacientes deben poder controlar sus datos como controlan su medicación"* [43].

En Corea del Sur, más de una decena de hospitales están utilizando sistemas basados en blockchain para intercambiar información médica entre instituciones. Esto ha reducido en un 40% los tiempos de diagnóstico en emergencias al evitar duplicidades de pruebas [41].

Además, gracias al aprendizaje federado, se están desarrollando modelos predictivos de enfermedades sin necesidad de reunir todos los datos en un servidor central. Un ejemplo es el proyecto RADAR del King's College London, que ha aplicado este enfoque para detectar signos tempranos del Parkinson y mejorar el tratamiento personalizado [42].

5.3.- Ciudades inteligentes e IoT

Las ciudades modernas generan un flujo constante de datos: consumo energético, tráfico, niveles de contaminación, seguridad pública. Pero en muchos casos, estos datos se pierden o quedan bloqueados en sistemas que no se comunican entre sí. Aquí es donde la DeAI y la blockchain pueden aportar una nueva forma de gobernar lo urbano.

En Europa, el proyecto Energy Web Foundation ha desarrollado un sistema que permite a los vecinos que generan electricidad con paneles solares vender directamente el exceso a otros usuarios, todo gestionado con contratos inteligentes. Esto ya se ha implementado en comunidades piloto en Países Bajos, Alemania y Austria, logrando una reducción del 30% en costes energéticos para los participantes [44].

En Dubái, la Smart Dubai Initiative ha puesto en marcha un sistema descentralizado para gestionar el tráfico, conectar semáforos, sensores y cámaras sin necesidad de una

infraestructura centralizada. Gracias a este sistema, en los distritos piloto se ha logrado reducir los atascos en un 15%, además de detectar con mayor rapidez incidentes en la vía pública [45]. *"La inteligencia urbana no puede construirse con cajas negras. Necesitamos transparencia, participación y soberanía digital"*, afirmó Amal Al-Maktoum en su charla sobre ciudades descentralizadas [49].

Además, algunos gobiernos locales en España y Escandinavia están explorando cómo usar IA descentralizada para predecir la demanda de servicios públicos, optimizar rutas de recogida de residuos o monitorizar la calidad del aire en tiempo real.

5.4.- Gobernanza y toma de decisiones colectivas

Si hay un ámbito donde la transparencia es esencial pero escasa, ese es la política. Desde elecciones poco claras hasta presupuestos opacos, la ciudadanía ha perdido buena parte de la confianza en las instituciones. Y la DeAI puede ofrecer herramientas concretas para cambiar esa dinámica.

En Zug (Suiza), una ciudad pionera en temas de criptoinnovación, los ciudadanos pueden votar en referéndums locales mediante una plataforma blockchain que garantiza que cada voto sea único, verificable y anónimo. Este sistema ha mejorado la participación ciudadana un 25% y los resultados están disponibles públicamente en tiempo real [47].

La plataforma *"Aragon"*, por su parte, permite crear lo que se conoce como DAOs (Organizaciones Autónomas Descentralizadas), donde cualquier comunidad puede gestionar fondos, tomar decisiones y votar propuestas de forma transparente y automática. Actualmente existen más de 2.000 DAOs activas en sectores como el arte, el activismo, el software libre o el medioambiente [48].

La iniciativa DECODE, financiada por la Unión Europea, ha desarrollado proyectos piloto en Barcelona y Ámsterdam para permitir a los ciudadanos decidir sobre presupuestos participativos o gestión de datos públicos mediante tecnología descentralizada [49]. Según Francesca Bria, directora del Digital Future Society y asesora de políticas tecnológicas, *"El blockchain puede devolver el poder a la ciudadanía, pero solo si se usa con propósito social y no solo especulativo"* [50].

5.5.- Investigación científica colaborativa

La ciencia necesita compartir, pero las estructuras actuales a menudo entorpecen ese flujo. Publicaciones restringidas, silos institucionales y falta de interoperabilidad hacen que el

conocimiento avance más lento de lo que debería. La DeAI, aplicada a la ciencia, puede cambiar esto desde la raíz. Con plataformas como Ocean Protocol o Datarella, los investigadores pueden registrar sus datos y hallazgos en sistemas blockchain, garantizando tanto la propiedad intelectual como el acceso abierto y verificable para otros científicos [13].

Un estudio piloto realizado en Alemania, enfocado en investigación oncológica, mostró que gracias a esta infraestructura descentralizada, el tiempo medio para acceder a datasets clínicos se redujo de tres semanas a solo tres días, lo que puede marcar la diferencia en ensayos médicos urgentes [51].

El fundador y CEO del proyecto Web3 SingularityNET, Ben Goertzel, afirma: *"No se trata solo de ciencia abierta, sino de ciencia justa. Necesitamos herramientas para que el conocimiento no dependa de cuántos recursos tienes, sino de cuánto puedes aportar"* [12]. La red SingularityNET permite que pequeños grupos de investigación, incluso sin grandes presupuestos, puedan desarrollar y publicar algoritmos de IA que luego otros pueden usar, mejorar o monetizar. En este entorno colaborativo, universidades de países en vías de desarrollo han conseguido competir en igualdad de condiciones con centros tecnológicos de primer nivel [12].

Es por todo ello que también se ha acuñado el acrónimo DeSci (Decentralized Science), para hacer referencia a este movimiento que busca mejorar la investigación científica haciendo que los datos y las publicaciones científicas sean más accesibles, democratizando las fuentes de financiación y, en definitiva, construyendo una ciencia más descentralizada y transparente [87].

Capítulo 6

Proyectos y Plataformas DeAI Destacados

La Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI) ya no es solo una idea técnica: está empezando a hacerse realidad en plataformas concretas. Estas iniciativas están cambiando la forma en la que se crean, protegen y usan los modelos de IA, desde cómo se recogen los datos hasta cómo se entrenan y se les saca valor. En este capítulo se destacan los principales proyectos que están liderando este cambio, tanto a nivel tecnológico como ético y económico.

6.1.- Bittensor

Bittensor ha transformado el aprendizaje automático al crear un sistema descentralizado y colaborativo, donde los participantes que entrenan modelos útiles son recompensados con su token nativo TAO. Inspirado en una red neuronal global, cada nodo funciona como una "neurona" que puede ser entrenada y evaluada por el resto de la red.



Figura 6.1: Logo oficial de Bittensor

A finales de 2024, Bittensor alcanzó una valoración superior a los 600 millones de dólares y su comunidad crece a un ritmo del 20% mensual, según datos de Messari [52]. Este crecimiento refleja el interés creciente en un modelo de IA abierto, donde cada contribución cuenta y es reconocida. En palabras de Ala Shaabana, cofundador de Bittensor, *"La inteligencia artificial no debería ser propiedad de unos pocos. Con Bittensor, estamos construyendo un sistema donde cualquier persona puede participar y beneficiarse de su inteligencia colectiva"* [53].

Además, existen proyectos externos que están empezando a integrar Bittensor como motor de inferencia, especialmente en sectores como análisis de datos descentralizados y plataformas educativas basadas en IA.

6.2.- Ocean Protocol

Ocean Protocol propone un cambio radical en la gestión de datos. A través de blockchain, permite que los datos sean compartidos sin necesidad de ceder su control. Gracias a su sistema de "data tokens", cualquier persona puede convertir su conjunto de datos en un activo digitalizable, seguro y trazable.



Figura 6.2: Logo oficial de Ocean Protocol

Según un estudio publicado por Outlier Ventures, Ocean Protocol fue una de las tres plataformas con mayor actividad en contratos inteligentes relacionados con datos durante 2023 [54]. Esto confirma su relevancia como solución práctica a los problemas de privacidad en el entrenamiento de modelos de IA. *"Ocean da a los datos el mismo valor que tiene el petróleo en la economía tradicional, pero con ética y control distribuido"*, Bruce Pon, fundador de Ocean Protocol [55].

Uno de sus casos de éxito es MOBI (Mobility Open Blockchain Initiative), un consorcio de fabricantes de automóviles como BMW y Ford que utiliza Ocean para intercambiar datos de movilidad sin comprometer la privacidad del usuario [56].

6.3.- SingularityNET

SingularityNET es una de las iniciativas más ambiciosas dentro del ecosistema DeAI. Su propuesta original fue crear un marketplace abierto de servicios de inteligencia artificial donde cualquier desarrollador pudiese ofrecer algoritmos para utilizar, mejorar o combinar libremente por terceros, mediante contratos inteligentes en la blockchain de Ethereum. Pero la visión de SingularityNET va mucho más allá. Liderado por Ben Goertzel, su objetivo siempre ha sido desarrollar una IA General (AGI) descentralizada, abierta y controlada por la comunidad.



Figura 6.3: Logo oficial de SingularityNET

Una muestra de este enfoque fue su integración en el robot humanoide Sophia, de Hanson Robotics, generando una simbiosis inédita entre IA física y DeAI [57]. En su evolución, el proyecto ha lanzado iniciativas como Deep Funding, un programa comunitario que ha repartido ya millones de dólares, en forma del token de la red (antes AGIX, actualmente FET, ver párrafo siguiente) a proyectos con impacto social, ético y científico, financiados directamente por la comunidad [58].



Figura 6.4: Foto de Ben Goertzel con su robot Sophia

A partir de 2024, SingularityNET dio un paso clave al fusionarse con Fetch.AI y Ocean Protocol, formando la ASI Alliance. Esta alianza busca unificar esfuerzos en torno a una infraestructura de IA verdaderamente descentralizada, interoperable y económicamente sostenible. Como parte de esta integración, se ha iniciado la transición del antiguo token

AGIX hacia un nuevo activo común, primero utilizando el token FET de Fetch.AI como base (apartado 6.4), con planes de evolucionarlo a un nuevo token que se denominará ASI, que será el estándar de gobernanza y transacción de toda la alianza [63].

Este paso confirma que SingularityNET va en serio con su apuesta por una inteligencia artificial más abierta y colaborativa. Pero lo más interesante es cómo este tipo de alianzas ayudan a unir esfuerzos en un entorno que suele estar muy dividido, permitiendo afrontar juntos los grandes retos tecnológicos, éticos y de gobernanza [62]. Como advierte su fundador, Ben Goertzel: “La AGI debe ser libre y abierta. Si la centralizamos, estamos condenando el futuro de la humanidad a los intereses de unos pocos” [58].

6.4.- Fetch.AI

Fetch.AI propone un modelo de IA distribuida donde agentes autónomos interactúan y negocian en entornos económicos descentralizados. Estos agentes pueden representar a personas, empresas o máquinas, y están diseñados para ejecutar tareas como gestión de rutas de transporte, trading financiero o control de energía.



Figura 6.5: Logo oficial de Fetch.AI

En 2024, Fetch.AI anunció su integración con la plataforma Bosch Connect, optimizando procesos logísticos en fábricas mediante inteligencia autónoma y descentralizada [59]. También se están utilizando sus agentes en aplicaciones de "smart parking", como en el caso piloto de Munich, donde los usuarios reservan plazas de aparcamiento de forma automática con agentes inteligentes [60]. Para Humayun Sheikh, CEO de Fetch.AI, *"nuestra visión es que las máquinas negocien entre sí para resolver problemas del mundo real, sin necesidad de que los humanos estén en medio"* [61]. Fetch.AI demuestra que la automatización no tiene por qué estar controlada por Google o Amazon, puede ser descentralizada, abierta y colaborativa.

6.5.- ASI Alliance

La Artificial Superintelligence Alliance (ASI) nació en 2023 como una respuesta a la fragmentación de las iniciativas DeAI. Fundada por SingularityNET, Fetch.AI y Ocean Protocol, busca establecer estándares técnicos y éticos para la cooperación, proponiendo los primeros protocolos de interoperabilidad entre marketplaces de modelos de IA. En su

primera conferencia en Zúrich se sumaron más de 70 startups y universidades interesadas en el desarrollo de una superinteligencia descentralizada, ética y colaborativa [62].

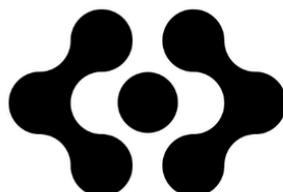


Figura 6.6: Logo oficial de ASI Alliance

En el propio manifiesto fundacional de esta coalición se indica que: *"la ASI Alliance no busca centralizar, sino coordinar. Queremos evitar que se repita el mismo error que con la Web2: concentración de poder sin control"* [63]. Se espera que en 2025 se publique el primer marco común de gobernanza para proyectos DeAI, algo inédito en el ámbito tecnológico hasta ahora.

6.6.- Análisis Comparativo de Plataformas

Para una mejor comprensión de la contribución e impacto específico de cada plataforma, en la tabla 6.1 se presenta un breve cuadro comparativo de las plataformas anteriores.

Tabla 6.1: Comparativa de plataformas destacadas en el ecosistema DeAI

Plataforma	Enfoque Principal	Blockchain	Token	Característica Destacada
Bittensor	Aprendizaje colaborativo	Propia	TAO	Red neuronal descentralizada con incentivos económicos
Ocean Protocol	Soberanía y economía de datos	Ethereum	FET ⁽¹⁾	Data tokens y control total de uso de datos
SingularityNET	Marketplace de IA + AGI ética	Ethereum y Cardano	FET ⁽²⁾	AGI descentralizada y fondo comunitario para innovación
Fetch.AI	Agentes autónomos inteligentes	Cosmos	FET ⁽³⁾	Automatización sin supervisión central
ASI Alliance	Interoperabilidad y gobernanza	Multcadena	FET ⁽³⁾	Estándares comunes y coordinación ética descentralizada

(1) - Anteriormente el token se denominaba OCEAN, en un futuro cambiará a ASI
 (2) - Anteriormente el token se denominaba AGIX, en un futuro cambiará a ASI
 (3) - En un futuro el token cambiará a ASI

Lo interesante de estas plataformas no es solo su tecnología, sino la visión que proponen, una inteligencia artificial que no pertenezca a una empresa, sino a la comunidad. Estas iniciativas apuestan por un futuro en el que la tecnología no dependa solo de los intereses

de unos pocos, sino que avance de forma más ética, colaborativa y justa. A medida que crecen, queda más claro que la descentralización no es solo una cuestión técnica: también es una forma de responder a los grandes problemas sociales y económicos que arrastra la IA actual.

Es importante dejar claro que las plataformas mencionadas antes no son las únicas dentro del mundo de la DeAI. Son algunas de las más destacadas, pero hay muchas más. En la tabla 6.2 se muestra un listado más amplio de otros proyectos relevantes, aunque no están todos los que existen.

Tabla 6.2: Otros proyectos DeAI

Proyecto	Token	Descripción	URL
Alethea AI	ALI	Creación de NFTs inteligentes (iNFTs) que pueden interactuar, aprender y evolucionar, impulsados por IA.	alethea.ai/
ARCH AI	ARCHAI	Creación de agentes IA personalizables, automatización en cadena.	archai.io
CUDOS	CUDOS (→ ASI)	Red descentralizada en la nube, acceso a recursos computacionales para IA, metaversos y otras cargas de trabajo intensivas. (miembro de la ASI Alliance en 2025)	cudos.org
Distribute AI	DIS	Democratización de acceso a infraestructura IA mediante una red descentralizada aprovechando poder computacional inactivo.	distributeai.io
EarthMeta	EMT	Combina IA, blockchain y NFTs vinculados a ubicaciones reales.	earthmeta.io
EleutherAI	No aplica	Investigación de IA de código abierto centrado en LLMs.	eleuther.ai
Flux	FLUX	Ecosistema de computación en la nube descentralizado para desplegar aplicaciones, incluyendo nodos de IA.	runonflux.io/
Gensyn	---	Entrenamiento descentralizado de modelos de IA a gran escala.	gensyn.ai
iExec RLC	RLC	Mercado descentralizado para recursos en la nube para IA y big data.	iex.ec
LilAI	LILAI	Chatbots y LLMs impulsados por IA para gestión de comunidades.	lilai.io
NodeGoAI	NODEGO	Monetización de potencia de cómputo no utilizada para IA.	nodego.ai
Numerai	NMR	Ciencia de datos para modelado financiero y protección de anonimato.	numer.ai
Oasis Network	ROSE	Plataforma centrada en la privacidad y la escalabilidad, soporte de aplicaciones DeFi y de datos confidenciales, incluyendo IA.	oasisprotocol.org
OpenCog	---	Marco de IA de código abierto para desarrollar AGI.	opencog.org
Oraichain	ORAI	Oráculo de IA y DApps basadas en IA, proporcionando servicios de IA verificables y seguros para blockchains.	orai.io/
Phala Network	PHA	Computación en la nube que preserva la privacidad, contratos inteligentes confidenciales y cómputo de IA seguro.	phala.network
Sahara AI	SAHARA	Construir, entrenar y monetizar modelos de IA en blockchain propia.	saharalabs.ai
ThoughtAI	THT	Integra datos, IA y blockchain para decisiones inteligentes.	thought.live
Worldcoin	WLD	Proyecto relacionado con IA y dispositivos biométricos.	worldcoin.org
Zero1 Labs	DEAI	Procesa datos con encriptación homomórfica con IA.	zero1labs.com

6.7.- Retos y críticas actuales de las plataformas DeAI

Aunque las plataformas de Inteligencia Artificial Descentralizada han logrado avances notables, también enfrentan desafíos significativos que no siempre se visibilizan en sus hojas de ruta oficiales. Esta sección plantea una visión más realista de las limitaciones y críticas que estas tecnologías aún deben superar para consolidarse como alternativas viables a la IA centralizada.

1. Escalabilidad y sostenibilidad técnica:

Uno de los principales retos de plataformas como Bittensor o SingularityNET es escalar sin sacrificar rendimiento. A medida que crece el número de participantes y nodos, aumentan las demandas de procesamiento y coordinación. En redes como Bittensor, donde miles de "neuronas" colaboran, surgen problemas de congestión, sincronización y validación que no son triviales de resolver. Además, mantener un sistema incentivado como el de TAO requiere una economía robusta y estable, algo que no siempre está garantizado en entornos cripto volátiles [52].

2. Centralización de facto:

Aunque estas plataformas promueven la descentralización, en la práctica algunas han sido criticadas por tener estructuras o decisiones aún muy concentradas. Por ejemplo, SingularityNET ha sido cuestionada por el peso que tiene su núcleo fundador en la dirección del proyecto, y Ocean Protocol ha enfrentado dudas sobre la transparencia en la asignación de sus "data tokens" [64]. La descentralización efectiva requiere no solo infraestructura técnica, sino también gobernanza distribuida y participación abierta, aspectos aún en desarrollo.

3. Falta de interoperabilidad real:

Pese a la existencia de iniciativas como la ASI Alliance, muchas de estas plataformas todavía operan en silos tecnológicos. Cada una tiene su propio token, protocolo y modelo de participación, lo que dificulta la colaboración directa entre redes distintas. Esta fragmentación impide la creación de un ecosistema verdaderamente interconectado y limita el impacto conjunto de la DeAI. Según un informe de Outlier Ventures, más del 60% de los proyectos DeAI en 2023 no ofrecían compatibilidad directa con otras plataformas [54].

4. Adopción limitada en entornos reales:

Aunque hay pilotos y colaboraciones prometedoras, la adopción masiva de estas plataformas en sectores clave como salud, energía o gobierno sigue siendo limitada. Muchas organizaciones aún desconfían del marco legal de las tecnologías descentralizadas, especialmente por la falta de regulación clara y la complejidad

técnica. Proyectos como Fetch.AI han tenido éxito en pruebas locales, pero enfrentan obstáculos para escalar a nivel nacional o industrial [60].

5. Volatilidad económica y dependencia de tokens:

El modelo económico de muchas plataformas DeAI se basa en tokens (TAO, AGIX, OCEAN, FET). En este contexto, un token puede asimilarse a una "*criptomoneda*", que normalmente cotizan en mercados con alta volatilidad. Esto introduce un riesgo considerable tanto para desarrolladores como para usuarios, que pueden ver reducidos sus incentivos o recompensas por causas ajenas al valor técnico de su trabajo. Además, esta dependencia de la especulación cripto ha generado críticas sobre la sostenibilidad real del ecosistema, sobre todo en periodos bajistas del mercado [65].

6. Complejidad técnica y falta de formación:

Participar en estos sistemas no siempre es accesible para todos. Configurar un nodo en Bittensor o crear un agente en Fetch.AI requiere conocimientos avanzados de programación, redes y criptoconomía. Esto limita la participación a un perfil técnico muy especializado, dejando fuera a buena parte de la comunidad académica o cívica que podría enriquecer estos entornos si las barreras de entrada fueran menores [66].

Para concluir, las plataformas DeAI han abierto nuevas posibilidades para democratizar la inteligencia artificial, pero aún enfrentan obstáculos que no deben ignorarse. Abordar estos retos no significa restar valor a sus avances, sino fortalecer el enfoque crítico necesario para construir tecnologías más justas, transparentes y sostenibles.

Capítulo 7

Desafíos y

Consideraciones

Éticas

La Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI) surge como una revolución en el desarrollo tecnológico, con el potencial de transformar la forma en que se crean, comparten y controlan los datos y los modelos de inteligencia artificial, prometiendo romper con los monopolios actuales de datos y de los modelos más potentes de inteligencia artificial. No obstante, como ocurre con cualquier cambio profundo, la DeAI no está exenta de desafíos. Detrás del ideal de una IA abierta, transparente y distribuida, aparecen dificultades reales que pueden comprometer su viabilidad o incluso agravar los problemas que pretende solucionar.

En este capítulo se repasan los retos más importantes que tiene hoy en día la DeAI, desde los problemas técnicos hasta los dilemas éticos y sociales. Aunque la descentralización aporta muchas ventajas, también nos obliga a replantearnos cómo asegurar que todo funcione bien, sea justo y seguro, sin que haya un centro que lo controle todo.

7.1.- Escalabilidad y eficiencia energética

Uno de los grandes retos de la DeAI es que no es fácil hacerla crecer de forma eficiente. Cuanto más usuarios y nodos se suman, más datos hay que mover, copiar y coordinar. Y eso pone mucha presión sobre unas infraestructuras que, al ser tan diversas y distribuidas, no siempre están tan bien optimizadas como los centros de datos tradicionales.

Un buen ejemplo de este problema lo vemos en las redes blockchain cuando hay mucho tráfico. En Ethereum, por ejemplo, las comisiones pueden subir tanto que la red se vuelve casi inutilizable para quienes no tienen muchos recursos. Y esto no solo afecta a las finanzas descentralizadas, también complica el funcionamiento de cualquier aplicación DeAI que use blockchain como base.

Además, hay un problema importante de consumo energético. Aunque se han dado pasos para reducirlo, como la migración de Ethereum de Proof of Work a Proof of Stake, muchas plataformas todavía operan con modelos que requieren un uso intensivo de energía. Esto contradice en parte la promesa de sostenibilidad que acompaña al discurso descentralizado. De ahí que cada vez más desarrolladores estén apostando por arquitecturas híbridas o tecnologías como el edge computing, que permiten procesar datos de forma más localizada y eficiente, reduciendo la carga global de la red [67].

7.2.- Privacidad y seguridad de datos

Uno de los grandes atractivos de la DeAI es su supuesta superioridad en términos de privacidad. Al no requerir una base de datos central, se reduce el riesgo de ataques masivos y fugas de información. Sin embargo, la realidad es más compleja. La dispersión de los datos en múltiples nodos abre nuevas puertas a ataques selectivos, manipulación de modelos o reconstrucción de datos sensibles a partir de metadatos compartidos.

En entornos donde se utiliza aprendizaje federado, por ejemplo, los datos nunca salen del dispositivo del usuario, lo cual es positivo. Pero a cambio, los modelos deben intercambiar gradientes o parámetros de entrenamiento que, en ciertas circunstancias, pueden ser revertidos para extraer información confidencial. A esto se suman los problemas de identidad digital: en una red descentralizada, ¿cómo se verifica la autenticidad de cada nodo sin comprometer el anonimato? ¿Y cómo se previene que actores maliciosos participen sin ser detectados?

Frente a estos dilemas, ya hay plataformas que están experimentando con algunas de las técnicas avanzadas ya mencionadas, como las pruebas de conocimiento cero (ZK-Proofs) y

el cifrado homomórfico, que permiten trabajar con datos sin revelarlos. Pero estas soluciones aún tienen limitaciones de escalabilidad y requerimiento computacional [68].

7.3.- Interoperabilidad entre sistemas

La descentralización ha fomentado una explosión de plataformas, lenguajes, estándares y arquitecturas distintas. Si bien esto representa un ecosistema vibrante e innovador, también ha creado un problema significativo, la falta de interoperabilidad. Cada proyecto tiende a desarrollar su propia infraestructura técnica, lo que dificulta la colaboración entre sistemas. Esto es especialmente problemático en aplicaciones que requieren interacción constante entre distintas redes, como compartir datos, integrar servicios de IA o ejecutar contratos inteligentes entre blockchains diferentes.

Algunos esfuerzos como Polkadot, Cosmos o la ASI Alliance intentan resolver este problema mediante la creación de puentes entre redes, pero todavía están lejos de convertirse en un estándar universal. En muchos casos, se necesitan soluciones intermedias como middleware especializados que actúen como traductores entre sistemas heterogéneos, aunque esto añade complejidad y puede debilitar la descentralización si se centralizan ciertos puntos de control.

Por consiguiente, si no se resuelve este reto, la DeAI podría terminar fragmentada en islas tecnológicas que no pueden comunicarse entre sí, lo cual frenaría su adopción y limitaría su impacto real [69].

7.4.- Gobernanza y regulación

Una de las preguntas más difíciles en cualquier sistema descentralizado es: ¿quién toma las decisiones? En ausencia de una entidad central, la gobernanza debe ser distribuida, pero esto no siempre es sinónimo de eficiencia o equidad. Existen riesgos claros de plutocracia digital, donde quienes poseen más recursos, por ejemplo, tokens de gobernanza, pueden influir de manera desproporcionada en las decisiones del sistema.

El caso de muchas DAOs (Organizaciones Autónomas Descentralizadas) demuestra que, si bien permiten una gestión colectiva de los proyectos, también son susceptibles a manipulaciones y conflictos internos. Además, en entornos DeAI donde hay decisiones críticas que tomar sobre el uso de datos o el entrenamiento de modelos, se vuelve esencial contar con mecanismos claros y auditables de votación, deliberación y revisión.

La regulación externa tampoco ofrece una respuesta sencilla. ¿Cómo legislar sobre una red global distribuida, cuyos participantes son anónimos y están repartidos por distintas jurisdicciones? Los marcos normativos actuales no están preparados para abordar estas nuevas realidades. Se necesita una actualización legal que tenga en cuenta los retos de la descentralización sin sofocar la innovación [70].

7.5.- Implicaciones éticas y sociales

Más allá de los aspectos técnicos, la DeAI plantea un conjunto de preguntas éticas profundas. ¿Quién es responsable cuando un sistema descentralizado comete un error o discrimina a un grupo de personas? ¿Cómo se garantiza que la diversidad y la equidad estén presentes en el entrenamiento de modelos, si no existe una autoridad que supervise los datos utilizados?

Uno de los mayores riesgos es que se reproduzcan, o incluso amplifiquen, las desigualdades actuales bajo una apariencia de apertura. En teoría, cualquier persona puede participar en una red DeAI; en la práctica, los beneficios tienden a concentrarse en quienes tienen más capacidad técnica, mejor conectividad o mayor capital inicial. Esto puede generar una nueva élite digital difícil de controlar.

También existe el peligro de que la DeAI se utilice para propósitos poco éticos. Sin controles efectivos, un modelo descentralizado se puede usar para crear “*deepfakes*”, manipular información o tomar decisiones automatizadas sin transparencia ni posibilidad de apelación. La ética, en este contexto, no puede limitarse a un código de buenas prácticas. Se requiere un enfoque colectivo que combine educación, gobernanza inclusiva y mecanismos tecnológicos de mitigación de riesgos [71].

Capítulo 8

Tendencias

Futuras y

Perspectivas

La DeAI no es solo una respuesta técnica al control centralizado, sino una visión alternativa de cómo crear sistemas digitales más equitativos, sostenibles y transparentes. En este capítulo, se analizan las tendencias emergentes que están dando forma al futuro de esta tecnología, respaldadas por estudios recientes, proyecciones de expertos y desarrollos en marcha en la industria. A medida que estas tecnologías evolucionan, se abren nuevas oportunidades para redefinir cómo interactuar con los sistemas inteligentes, cómo gobernarlos y quién tiene acceso a ellos. Esta sección propone una mirada amplia, no solo técnica, sino también social y económica, sobre lo que está por venir.

8.1.- Integración con tecnologías emergentes

El futuro de la Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI) está profundamente entrelazado con su habilidad para integrarse de manera efectiva con otras tecnologías

emergentes. Esta convergencia tecnológica no solo potencia sus capacidades analíticas, autónomas y de toma de decisiones, sino que también abre la puerta a su aplicación en escenarios cada vez más complejos y diversos:

- Blockchain y contratos inteligentes: siguen siendo la columna vertebral de muchos sistemas DeAI. Según Gartner, el 80% de las aplicaciones descentralizadas en IA de nueva generación integrarán mecanismos automatizados de gobernanza mediante contratos inteligentes para 2026 [72]. Estas tecnologías no solo permiten verificar la procedencia y uso de los datos, sino también automatizar procesos seguros y auditables, clave para lograr la confianza en entornos abiertos.
- Edge Computing: el procesamiento local en dispositivos IoT está facilitando la aplicación de modelos DeAI en tiempo real. Empresas como NVIDIA y Google ya están desplegando soluciones que permiten ejecutar modelos de IA en dispositivos periféricos con baja latencia y mayor privacidad [73]. Esto resulta especialmente útil en aplicaciones como la salud, donde mantener los datos en origen es crucial para preservar la privacidad.
- Computación cuántica: aunque aún en fase experimental, IBM y Xanadu están investigando su aplicación para acelerar el entrenamiento distribuido de modelos DeAI, con el objetivo de superar limitaciones de escalabilidad [74]. La posibilidad de ejecutar algoritmos de alta complejidad en tiempos reducidos podría redefinir lo que se entiende por inteligencia distribuida.
- Realidad extendida y metaverso: plataformas como Somnium Space o Spatial están comenzando a integrar IA descentralizada para experiencias personalizadas en entornos virtuales, sin centralizar los datos del usuario [75]. En el contexto del metaverso, esto puede traducirse en interacciones más éticas y respetuosas con la identidad digital de los participantes.

Esta sinergia tecnológica no solo trae oportunidades, sino también nuevos retos en ciberseguridad, interoperabilidad y ética digital que deben ser abordados con una mirada interdisciplinaria. Será fundamental, por tanto, fomentar la colaboración entre expertos técnicos, legisladores, diseñadores de experiencia de usuario y representantes sociales.

8.2.- Evolución de modelos de gobernanza

Uno de los mayores retos de la DeAI es definir cómo se toman decisiones colectivas en entornos sin jerarquías claras, donde cada participante de la red tiene las mismas o parecidas atribuciones que el resto de miembros, y no existe una autoridad encargada de

gestionar, controlar o dirigir el sistema de forma directa. La gobernanza descentralizada está evolucionando en varias direcciones:

- DAOs (Organizaciones Autónomas Descentralizadas): están ganando protagonismo como forma de gestión colectiva. Proyectos como SingularityNET ya permiten que los poseedores del token FET (antes AGIX) voten sobre actualizaciones o parámetros del sistema [12]. Estos mecanismos de gobernanza implican decisiones éticas, de evaluación de modelos o de asignación de recursos computacionales.
- Modelos de participación inclusiva: según Deloitte, para que la DeAI sea realmente representativa, debe incluir mecanismos de participación ciudadana y científica en las decisiones clave. Se están explorando sistemas de "votación cuadrática" o "reputación descentralizada" para lograrlo [76]. Estas propuestas permiten equilibrar el poder de decisión según el conocimiento o implicación de cada participante, evitando los sesgos de las democracias tokenizadas.
- Regulación adaptativa: la Comisión Europea ya ha reconocido la necesidad de regular modelos descentralizados con enfoques flexibles y participativos, como se evidencia en la propuesta del AI Act en su versión 2024 [77]. A nivel global, se abren debates sobre cómo armonizar estas nuevas formas de gobernanza con los marcos legales existentes.

En conjunto, estas formas de gobernanza buscan responder a una pregunta clave: ¿quién toma las decisiones cuando nadie tiene el control absoluto? La respuesta pasa por redefinir el concepto mismo de responsabilidad colectiva en un entorno digital compartido.

8.3.- Democratización del desarrollo de IA

Uno de los pilares más transformadores de la DeAI es su potencial para abrir el acceso a la inteligencia artificial a actores tradicionalmente excluidos. Esta democratización no es solo técnica, sino también política y educativa:

- Infraestructura accesible: gracias a proyectos como OpenMined o Flower, cualquier persona con un dispositivo conectado puede participar en el entrenamiento de modelos colaborativos sin necesidad de grandes recursos [15]. Esto incluye a estudiantes, desarrolladores independientes o colectivos comunitarios que antes estaban al margen de la innovación.
- Modelos y datos abiertos: iniciativas como Hugging Face o EleutherAI han impulsado una nueva ola de modelos de lenguaje y visión artificial disponibles bajo

licencias abiertas, facilitando la investigación y el emprendimiento desde cualquier lugar del mundo [78]. Este acceso abierto permite también auditar los modelos y corregir sesgos de forma colaborativa.

- **Formación distribuida:** la proliferación de MOOC, hackatones y comunidades en Discord o GitHub está haciendo que el aprendizaje de IA descentralizada sea más horizontal y accesible que nunca. La formación técnica ya no depende de instituciones académicas tradicionales, sino de redes globales de aprendizaje abierto.

Según un informe de PwC, esta democratización podría generar un crecimiento del 14% en la participación de países en desarrollo en el mercado global de IA para 2030 [79]. Además, permitiría que los sistemas de IA reflejen mejor la diversidad cultural, económica y lingüística del mundo.

8.4.- Impacto potencial en diversos sectores

La DeAI no solo redefine la forma en que se desarrolla la tecnología, sino también cómo se aplica en sectores clave. A continuación se detallan algunos ejemplos que ilustran su impacto transformador:

- **Salud:** proyectos como Medibloc están demostrando que es posible ofrecer diagnósticos personalizados sin que los datos salgan del entorno del paciente. La combinación de blockchain y aprendizaje federado es clave [80]. En contextos de salud pública, la DeAI puede permitir el análisis colectivo de tendencias sin vulnerar la privacidad individual.
- **Educación:** plataformas de tutoría personalizadas como X5GON están explorando el uso de modelos DeAI para adaptarse a contextos educativos diversos, respetando la privacidad del estudiante [81]. En zonas rurales o con recursos limitados, la DeAI puede brindar acceso a contenidos adaptativos sin depender de grandes corporaciones tecnológicas.
- **Energía:** redes locales de energía como PowerLedger integran IA descentralizada para optimizar el uso comunitario de energía solar y gestionar mejor la oferta y la demanda [82]. Estos sistemas permiten que los ciudadanos se conviertan en productores-consumidores, impulsando una economía energética más participativa.

- Finanzas: en el ámbito DeFi (Decentralized Finance), la DeAI está permitiendo estrategias de inversión y detección de riesgos basadas en análisis colectivamente entrenados, reduciendo la asimetría de información entre usuarios [38]. También se explora su uso para generar scoring crediticio ético y basado en criterios comunitarios.
- Agricultura: sensores IoT y modelos distribuidos están ayudando a pequeños productores a acceder a recomendaciones agronómicas sin depender de plataformas comerciales [83]. Este enfoque puede reducir la dependencia tecnológica y mejorar la autonomía alimentaria de comunidades locales.

Estos casos reflejan cómo la DeAI no es una simple evolución técnica, sino una propuesta para redistribuir el poder tecnológico hacia los extremos de la red. En este sentido, representa un cambio de paradigma no solo en la arquitectura de sistemas, sino en la relación entre tecnología y ciudadanía.



Capítulo 9

Conclusiones

9.1.- Resumen de hallazgos clave

Este trabajo ha explorado en profundidad el concepto y el ecosistema de la Inteligencia Artificial Descentralizada (DeAI), un enfoque emergente que propone una redistribución del poder tecnológico desde los grandes centros de datos hacia redes abiertas y colaborativas. A lo largo del estudio, se ha demostrado cómo tecnologías como blockchain, el aprendizaje federado y la computación distribuida permiten construir sistemas de IA más justos, transparentes y seguros.

Se han analizado los fundamentos técnicos y éticos que sostienen la DeAI, los retos estructurales que enfrenta, y los casos de uso ya aplicados en sectores como la salud, las finanzas, la educación, la energía o la gobernanza pública. También se ha realizado una comparativa con los modelos tradicionales de IA centralizada, señalando con evidencia clara sus limitaciones en cuanto a privacidad, equidad y accesibilidad. Por último, se ha

identificado una tendencia clara hacia la integración con tecnologías emergentes como el metaverso, la computación cuántica o la realidad extendida.

9.2.- Limitaciones del estudio

Aunque el enfoque del trabajo ha sido riguroso y multidisciplinar, hubo limitaciones inevitables durante el desarrollo:

- Falta de acceso a datos internos de plataformas: Algunas plataformas DeAI relevantes (como Fetch.AI o ASI Alliance) no publican estadísticas completas o todavía no ofrecen APIs disponibles, dificultando una evaluación cuantitativa más precisa de su impacto.
- Limitaciones temporales: Por tratarse de un trabajo de fin de grado, el tiempo disponible ha limitado el alcance de estudios de campo o entrevistas.
- Dificultades metodológicas: La naturaleza rápidamente cambiante del sector hizo que parte de la documentación técnica consultada quedara obsoleta o fuera contradictoria, lo que obligó a constantes revisiones y contrastes de fuentes.

9.3.- Recomendaciones para futuros proyectos

Este trabajo abre la puerta a nuevas líneas de estudio que podrían complementar o ampliar sus hallazgos:

- Análisis cuantitativo del rendimiento de redes DeAI: Es necesario realizar pruebas empíricas que comparen eficiencia, consumo energético y precisión entre modelos centralizados y descentralizados.
- Estudios de gobernanza descentralizada aplicados a IA: Sería valioso investigar cómo se toman decisiones críticas (entrenamiento de modelos, uso de datos, reparto de incentivos) en entornos como DAOs orientadas a IA.
- Exploración del impacto social de la DeAI en comunidades marginadas: Investigar cómo la descentralización de la inteligencia artificial puede empoderar a regiones o colectivos históricamente excluidos del desarrollo tecnológico.

- Diseño de políticas públicas para regulación DeAI: Hace falta estudiar modelos legislativos flexibles que permitan proteger al usuario sin frenar la innovación descentralizada.
- Desarrollo: Cada una de las plataformas DeAI presentadas (y otras muchas, ver tabla 6.2) son en sí mismas un entorno que posibilita el desarrollo de aplicaciones descentralizadas. El estudio en profundidad de cualquiera de esas plataformas capacitaría a un desarrollador (o equipo de desarrolladores) para crear sus propias aplicaciones o servicios inteligentes en la Web3.





Bibliografía

- [1] Uniswap Protocol
Autores: Hayden Adams et al.
URL: <https://uniswap.org>
Publicado en: 2018

- [2] OpenSea Marketplace
Autores: Devin Finzer, Alex Atallah.
URL: <https://opensea.io>
Publicado en: 2017

- [3] Filecoin: A Decentralized Storage Network
Autores: Juan Benet, Protocol Labs.
URL: <https://filecoin.io>
Publicado en: Protocol Labs (julio 2017)

- [4] Decentralized AI: The intersection of Blockchain and Artificial Intelligence
Autores: Yannis Kalfoglou, Marta Poblet, Anwaar Ali.
URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-01203-0_3
Publicado en: 2019
- [5] The Transparent Society
Autores: David Brin
URL: <https://www.davidbrin.com/transparentociety.html>
Publicado en: Perseus Books, 1998
- [6] Federated Learning: Collaborative Machine Learning without Centralized Training Data
Autores: H. Brendan McMahan, Eider Moore, Daniel Ramage, Seth Hampson, Blaise Agüera y Arcas
URL: <https://ai.googleblog.com/2017/04/federated-learning-collaborative.html>
Publicado en: Google AI Blog, 2017.
- [7] Decentralized AI: The intersection of Blockchain and Artificial Intelligence
Autores: Yannis Kalfoglou, Marta Poblet
URL: https://www.researchgate.net/publication/353762909_Intersection_of_AI_and_Blockchain_Technology_Concerns_and_Prospects
Publicado en: Springer, 2019.
- [8] Blockchain Basics: A Non-Technical Introduction
Autores: Drescher, D.
URL: <https://www.apress.com/gp/book/9781484226032>
Publicado en: Apress, 2017.
- [9] A Survey on Distributed Machine Learning
Autores: Li, T. et al.
URL: <https://arxiv.org/abs/2007.03799>
Publicado en: arXiv, 2020.
- [10] Ethereum Whitepaper: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform
Autores: Vitalik Buterin
URL: <https://ethereum.org/en/whitepaper/>
Publicado en: Ethereum Foundation, 2014

- [11] Token Economy
Autores: Mougayar, W.
URL: <https://www.amazon.com/Token-Economy-Contracts-Revolutionize-Economy/dp/1541139174>
Publicado en: Wiley, 2016.
- [12] SingularityNET Documentation
Autores: SingularityNET Foundation
URL: <https://docs.singularitynet.io/>
Publicado en: SingularityNET
- [13] Ocean Protocol
Autores: Ocean Protocol Foundation
URL: <https://oceanprotocol.com>
Publicado en: Ocean Protocol
- [14] Bittensor Whitepaper
Autores: Bittensor Foundation
URL: <https://docs.bittensor.com>
Publicado en: Bittensor
- [15] OpenMined
Autores: Ryffel, T., Trask, A. et al.
URL: <https://github.com/OpenMined>
Publicado en: GitHub / OpenMined
- [16] Cambridge Analytica
Cryptocurrencies is Changing the World
Autores: Cadwalladr, C.
URL: <https://www.theguardian.com/news/series/cambridge-analytica-files>
Publicado en: The Guardian
- [17] LinkedIn Data Breach
Autores: Cimpanu, C.
URL: <https://www.zdnet.com/article/linkedin-data-breach-everything-you-need-to-know/>
Publicado en: ZDNet
- [18] Bittensor: A Peer-to-Peer Intelligence Market
Autores: Bittensor Foundation
URL: <https://bittensor.com>
Publicado en: Bittensor

- [19] China's Social Credit System
Autor: Mozur, P.
URL: <https://www.nytimes.com/2018/11/03/technology/china-social-credit.html>
Publicado en: NYT
- [20] OpenMined: Privacy-Preserving AI
Autores: OpenMined Community
URL: <https://www.openmined.org>
Publicado en: OpenMined
- [21] Facial recognition and race
Autor: Harwell, D.
URL: <https://www.washingtonpost.com/technology/2020/12/21/facial-recognition-race/>
Publicado en: The Washington Post
- [22] AI Fairness and Bias Mitigation
Autor: Mehrabi, N. et al.
URL: <https://arxiv.org/abs/1908.09635>
Publicado en: arXiv, 2019.
- [23] Blockchain: A Blueprint for a New Economy.
Autor: Melanie Swan.
URL: <https://www.oreilly.com/library/view/blockchain-a-blueprint/9781491920497/>
Publicado en: O'Reilly Media, 2015
- [24] Ethereum White Paper: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform.00
Autor: Vitalik Buterin.
URL: <https://ethereum.org/en/whitepaper/>
Publicado en: Ethereum Foundation, 2014
- [25] Hedera Hashgraph – Technical Whitepaper.
Autores: Leemon Baird, Mance Harmon.
URL: <https://hedera.com/whitepaper>
Publicado en: Hedera, 2018
- [26] The Tangle: A Blockchain Alternative for the Internet of Things (IOTA).
Autores: Serguei Popov.
URL: <https://iota.org/foundation/research-papers>
Publicado en: IOTA Foundation, 2017

- [27] Holochain White Paper: Scalable Agent-Centric Computing.
Autores: Arthur Brock, Eric Harris-Braun.
URL: <https://holochain.org/whitepapers>
Publicado en: Holochain, 2018
- [28] Communication-Efficient Learning of Deep Networks from Decentralized Data.
Autores: Brendan McMahan et al.
URL: <https://arxiv.org/abs/1602.05629>
Publicado en: Google AI Research, 2016
- [29] Federated Learning: Challenges, Methods, and Future Directions.
Autores: Qiang Yang, Yang Liu, Tianjian Chen, Yongxin Tong
URL: <https://arxiv.org/abs/1908.07873>
Publicado en: IEEE Signal Processing Magazine, 2019
- [30] A Survey on Homomorphic Encryption Schemes: Theory and Implementation.
Autores: Acar, Abbas et al.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864817301315>
Publicado en: Journal of Information Security and Applications, 2018
- [31] zk-SNARKs: Zero-Knowledge Succinct Non-Interactive Arguments of Knowledge
Autores: Eli Ben-Sasson et al.
URL: <https://eprint.iacr.org/2013/879.pdf>
Publicado en: IACR Cryptology ePrint Archive, 2013
- [32] An Overview of Ring Signature Schemes
Autores: Joseph K. Liu.
URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-44751-5_3
Publicado en: Springer Lecture Notes in Computer Science, 2016
- [33] Equifax Breach Report: U.S. House Committee on Oversight
Autores: Committee on Oversight and Government Reform.
URL: <https://oversight.house.gov/report/the-equifax-data-breach>
Publicado en: U.S. Government, 2018
- [34] Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System
Autor: Satoshi Nakamoto
URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
Publicado en: Bitcoin.org, 2008

- [35] Golem Network: Decentralized Computing Power Marketplace
Autor: Golem Factory
URL: <https://golem.network>
Publicado en: Golem Project, 2021
- [36] Cosmos: The Internet of Blockchains
Autores: Jae Kwon, Ethan Buchman
URL: <https://cosmos.network>
Publicado en: Interchain Foundation, 2019
- [37] Chainlink: Decentralized Oracle Network
Autores: Sergey Nazarov, Steve Ellis
URL: <https://chain.link>
Publicado en: Chainlink Labs, 2020
- [38] DeFi Pulse. Total Value Locked (TVL) in DeFi
Autores: DeFi Pulse Team
URL: <https://defipulse.com/>
Publicado en: DeFi Pulse, consultado en mayo de 2025
- [39] The Rise of Aave and the DeFi Lending Revolution
Autores: Decrypt Media
URL: <https://decrypt.co/42667/aave-and-defi-lending>
Publicado en: Decrypt, 2023
- [40] Digital Transformation in Healthcare: Blockchain, AI, and Trust
Autores: Deloitte Insights
URL: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/industry/health-care.html>
Publicado en: Publicado en: Deloitte, 2024
- [41] Seoul Hospitals Lead Blockchain Adoption for Health Data
Autor: The Korea Herald
URL: <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20240112000501>
Publicado en: The Korea Herald, enero 2024
- [42] RADAR-AD: Remote Assessment of Disease and Relapse – Alzheimer’s and Parkinson’s Disease
Autor: King’s College London
URL: <https://www.radar-ad.org>
Publicado en: Proyecto RADAR-AD, 2023

- [43] Entrevista al Dr. Sang-Min Lee sobre privacidad médica y blockchain
Autores: HealthTech Asia
URL: <https://healthtech.asia/interview-sang-min-lee>
Publicado en: HealthTech Asia, 2024
- [44] Energy Web: Enabling Decentralized Energy Markets
Autores: Energy Web Foundation
URL: <https://www.energyweb.org>
Publicado en: Energy Web, 2024
- [45] Smart Dubai: Blockchain-Based Traffic Optimization
Autor: Smart Dubai Government
URL: <https://www.smartdubai.ae>
Publicado en: Smart Dubai Initiative, 2023
- [46] TED Talk: Designing Transparent Cities with Decentralized Tech
Ponente: Amal Al-Maktoum
URL: https://www.ted.com/talks/amal_al_maktoum_transparent_smart_cities
Publicado en: TED Talks, 2023
- [47] Crypto Valley Zug Adopts Blockchain Voting
Autor: Swissinfo.ch
URL: <https://www.swissinfo.ch/eng/politics/zug-tests-e-voting-using-blockchain/44363430>
Publicado en: Swissinfo, 2024
- [48] Aragon Project – Building DAO Infrastructure
Autor: Aragon Association
URL: <https://aragon.org>
Publicado en: Aragon.org, 2024
- [49] DECODE Project: Data Empowerment for Citizens in the Digital Age
Autores: European Commission
URL: <https://decodeproject.eu>
Publicado en: DECODE Project, Unión Europea, 2023
- [50] Francesca Bria: The Blockchain City
Autor: Bria, F.
URL: <https://www.digitalfuturesociety.com/interview/francesca-bria-blockchain-city/>
Publicado en: Digital Future Society, 2023

- [51] Using Blockchain to Accelerate Clinical Research Collaboration
Autor: Fraunhofer Institute
URL: <https://www.fraunhofer.de/en/blockchain-research>
Publicado en: Fraunhofer, Alemania, 2024
- [52] "Bittensor (TAO) Surpasses 30K Nodes, Becomes Most Active AI Blockchain"
Autor: Messari Crypto Reports
URL: <https://messari.io/article/bittensor-tao-network-growth>
Publicado en: Messari, enero 2024
- [53] "Bittensor Co-Founder Ala Shaabana on Building the Open Neural Network"
Autor: CryptoSlate Entrevista
URL: <https://cryptoslate.com/interview-bittensor-co-founder>
Publicado en: CryptoSlate, septiembre 2023
- [54] Ocean Protocol Whitepaper v3
Autor: Ocean Protocol Foundation
URL: <https://oceanprotocol.com/technology>
Publicado en: Ocean Protocol, 2023
- [55] "Decentralized Data Ownership: Interview with Bruce Pon"
Autor: CoinDesk Staff
URL: <https://www.coindesk.com/bruce-pon-ocean-interview>
Publicado en: CoinDesk, agosto 2023
- [56] "Roche teams up with Ocean Protocol for decentralized health data project"
Autor: PharmaLedger Alliance
URL: <https://www.pharmaledger.org/roche-ocean-deal>
Publicado en: PharmaLedger, octubre 2023
- [57] "SingularityNET: Democratizing AGI Through Blockchain"
Autor: SingularityNET Foundation
URL: <https://singularitynet.io/vision>
Publicado en: Web oficial de SingularityNET
- [58] "Ben Goertzel on Decentralized AGI and Ethics"
Autor: TechCrunch Disrupt
URL: <https://techcrunch.com/ben-goertzel-decentralized-agi>
Publicado en: TechCrunch, noviembre 2023

- [59] "Bosch & Fetch.AI Launch Smart Factory Trial"
Autor: Bosch Industry Press
URL: <https://www.bosch.com/newsroom/fetch-ai>
Publicado en: Bosch Group, diciembre 2023
- [60] "Fetch.AI: Enabling Autonomous Economic Agents"
Autor: Fetch.AI Foundation
URL: <https://fetch.ai/docs>
Publicado en: Sitio oficial de [Fetch.AI](https://fetch.ai)
- [61] "Humayun Sheikh on Machine-to-Machine Negotiation"
Autor: Decrypt Interview Series
URL: <https://decrypt.co/interview-humayun-sheikh>
Publicado en: Decrypt, julio 2023
- [62] "ASI Alliance Conference in Zurich: Building Standards for DeAI"
Autor: European Blockchain Observatory
URL: <https://eublockchainforum.eu/asi-zurich2023>
Publicado en: EU Blockchain Forum, junio 2023
- [63] "Introducing ASI Alliance: Toward Cooperative AGI"
Autor: SingularityNET, Fetch.AI & Ocean Protocol
URL: <https://asi-alliance.org/manifesto>
Publicado en: ASI Alliance, mayo 2023
- [64] "SingularityNET Governance: Balancing Community and Leadership"
Autor: DAO Research Collective
URL: <https://dao-research.org/singularitynet-governance>
Publicado en: DAO Research, 2023
- [65] "Crypto Tokens and Ecosystem Volatility in Web3 Platforms"
Autor: Blockchain Policy Institute
URL: <https://bpi.global/web3-volatility>
Publicado en: BPI, 2024
- [66] "Who Can Build on DeAI? Accessibility and Skill Barriers in Bittensor and [Fetch.AI](https://fetch.ai)"
Autor: DeAI Inclusion Lab
URL: <https://inclusion.deai.net/report2024>
Publicado en: DeAI Inclusion Lab, 2024

- [67] Ethereum Merge: Energy efficiency improvement
Autor: Ethereum Foundation
URL: <https://ethereum.org/en/upgrades/merge/>
Publicado en: [Ethereum.org](https://ethereum.org)
- [68] OpenMined: Privacy-Preserving Machine Learning
Autores: Trask, Andrew et al
URL: <https://github.com/OpenMined>
Publicado en: GitHub
- [69] Challenges in decentralized data exchange
Autor: Ocean Protocol
URL: <https://blog.oceanprotocol.com/>
Publicado en: Ocean Protocol Blog
- [70] Lessons from decentralized governance experiments
Autor: Fetch.AI Foundation
URL: <https://fetch.ai/news>
Publicado en: Fetch.AI
- [71] Ethics in Decentralized AI: Risks and Responsibilities
Autor: Partnership on AI
URL: <https://partnershiponai.org/>
Publicado en: PAI Reports
- [72] Predicts 2024: Emerging Technologies in Decentralized AI
Autor: Gartner Research Team
URL: <https://www.gartner.com/>
Publicado en: Gartner, 2023
- [73] NVIDIA Edge AI Use Cases
Autor: NVIDIA Corporation
URL: <https://www.nvidia.com/en-us/autonomous-machines/embedded-systems/>
Publicado en: NVIDIA, 2023
- [74] Quantum Machine Learning and Federated Systems
Autor: Xanadu Quantum Technologies
URL: <https://www.xanadu.ai/>
Publicado en: Xanadu, 2023

- [75] XR Integration with DeAI
Autor: Somnium Space Team
URL: <https://www.somniumspace.com/>
Publicado en: Somnium Space, 2023
- [76] Decentralized Decision-Making in AI Ecosystems
Autor: Deloitte Insights
URL: <https://www2.deloitte.com/>
Publicado en: Deloitte, 2023
- [77] AI Act Proposal 2024 (Versión adaptada)
Autor: Comisión Europea
URL: <https://ec.europa.eu/>
Publicado en: Comisión Europea, 2024
- [78] Open Source AI for All
Autor: EleutherAI Collective
URL: <https://www.eleuther.ai/>
Publicado en: EleutherAI, 2023
- [79] Global Artificial Intelligence Study: Exploiting the AI Revolution
Autores: PwC Research Team
URL: <https://www.pwc.com/>
Publicado en: PwC, 2023
- [80] Decentralized Healthcare Data Platform
Autor: Medibloc Foundation
URL: <https://medibloc.org/>
Publicado en: Medibloc, 2023
- [81] AI-powered Open Educational Resources Network
Autor: X5GON Consortium
URL: <https://www.x5gon.org/>
Publicado en: Proyecto X5GON, 2023
- [82] Decentralized Energy Systems
Autor: PowerLedger Team
URL: <https://www.powerledger.io/>
Publicado en: PowerLedger, 2023

- [83] Digital Agriculture and AI for Smallholder Farmers
Autor: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)
URL: <https://www.fao.org/>
Publicado en: FAO, 2023
- [84] MedRec: Using Blockchain for Medical Data Access and Permission Management
Autor: Ariel Ekblaw, Asaf Azaria, John D. Halamka, Andrew Lippman
URL: <https://www.media.mit.edu/publications/medrec-using-blockchain-for-medical-data-access-and-permission-management/>
Publicado en: MIT Media Lab, 2016
- [85] BLOG #04: Deep Funding, Construyendo juntos: Financia tus proyectos e ideas a través del Deep Funding
Autor: LATAM @SingularityNET Community
URL: <https://singularitynet-latam.medium.com/>
Publicado en: Medium, 2024
- [86] Deep Funding
Autor: Deep Funding
URL: <https://deepfunding.ai/>
Publicado en: Medium, 2024
- [87] Binance Academy
Autor: Binance Academy
URL: <https://academy.binance.com/es/articles/what-is-decentralized-science-desci>
Publicado en: Binance Academy, 2024

Anexo

Deep Funding:

Programa de

financiación de

SingularityNET

El programa de Deep Funding quizás sea la iniciativa más potente de SingularityNET. Esta comunidad fomenta el “*hacer cosas juntos*”, y el fondo de Deep Funding incentiva esto.



Figura 10.1: Logo oficial de Deep Funding

A.1.- ¿Qué es el Deep Funding?

El Deep Funding es un fondo de financiación para aquellos creadores e innovadores que estén buscando materializar sus proyectos. Con el objetivo de apoyar y solventar proyectos y productos de IA que pasen luego a formar parte del marketplace descentralizado de

SingularityNET, quien destina el 30% de los token FET (antes AGIX) acuñados sobre la red de Cardano y Ethereum y distribuidos en dos rondas de financiación al año.

La comunidad selecciona las propuestas elegibles y a través de un nutrido y enriquecedor proceso de votación, a través del cual los miembros de la comunidad tienen la oportunidad de comentar, corregir y editar sus propuestas, se decide cuáles serán los proyectos que recibirán el dinero del fondeo. En la última ronda de financiación, la Ronda 3, hubo 117 proyectos elegibles, más de 220 carteras votando y se repartieron la cantidad equivalente en tokens FET de más de 1.5M AGIX entre 43 proyectos financiados.

A.2.- Financiación Descentralizada

Financiar de manera descentralizada significa que es la comunidad de SingularityNET, aquellos miembros que tengan FET en su poder, quienes deciden a través de un proceso de votación qué propuestas son las que merecen ser financiadas. Luego de un período de un mes en el cual los miembros de la comunidad pueden comentar y corregir sus propias propuestas, la votación se lleva a cabo sobre la red de bloques de Cardano para asegurar la trazabilidad y transparencia. Todo queda grabado en la red de bloques.

Además, con el objetivo de limitar las desigualdades que se pueden presentar en un régimen plutocrático, el voto en SingularityNET es un voto cuadrático y basado en el historial y en la reputación de cada una de las carteras permitiendo así que los pequeños proyectos y nuevos miembros tengan también oportunidades de financiamiento.

En febrero de 2021, en la comunidad LATAM @SingularityNET Community [85] se votó abrumadoramente a favor de aceptar la propuesta de fase. Esta propuesta prevé la acuñación de mil millones de nuevos tokens en lotes mensuales de cantidades gradualmente decrecientes. Esto quiere decir que el proyecto SingularityNET ha establecido una cantidad de token FET predeterminada para ser acuñados de aquí a 91 años de manera periódica. El 30% de la producción de FET acuñados sobre la red de Cardano y Ethereum se traspasan al fondo de inversión de Deep Funding.

A.3.- Participación en Deep Funding

Para participar en las diferentes instancias y etapas de las dos rondas de financiación que el Deep Funding lanza al año, quizás lo primero que se puede hacer es explorar la plataforma del Deep Funding, así como sumarnos al canal de Telegram y Discord donde se podrán hacer todas las preguntas que sea necesario, conocer al resto de la comunidad de SingularityNET y estar al corriente de las últimas novedades.

A.3.1.- Registro y acceso a la plataforma

Se empieza con el registro y creación de una cuenta en la web oficial de la plataforma oficial: <https://deepfunding.ai/register/>

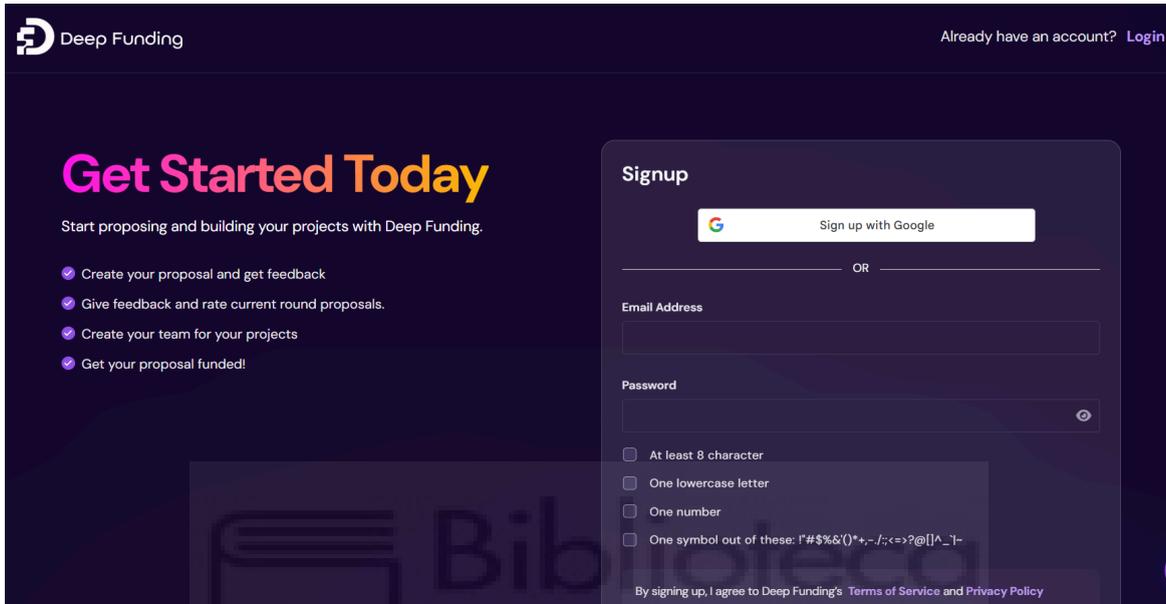


Figura A.1: Página de registro de Deep Funding

Una vez dentro, los participantes pueden:

- Crear una propuesta y recibir comentarios
- Comentar y calificar propuestas de otras personas en la misma ronda
- Formar un equipo de trabajo
- Recibir financiación si su propuesta es seleccionada

A.3.2.- Proponer

Para ser proponente y subir una propuesta elegible, es importante conocer de cerca los diferentes Pools y desarrollar una solicitud en relación al presupuesto y los objetivos de cada una de las categorías. Esto es fundamental para subir propuestas a la plataforma.

Pero el Deep Funding es mucho más que una plataforma donde financiar proyectos, sino que es una comunidad dinámica en constante experimentación y evolución de creadores e innovadores, fuertemente motivados para descentralizar el Planeta Tierra y alcanzar la IA General descentralizada. Por eso, una vez que conocidos los diferentes personajes dentro

de la comunidad, se comprende la importancia de los vínculos y las relaciones, pues muchas veces es allí mismo, en el vínculo con el resto de miembros de la comunidad donde nacen las ideas, la creación e innovación.

A.3.3.- Presentar una Propuesta

Una propuesta muestra su experiencia y conocimiento de su equipo en torno a la solución propuesta y que su idea o proyecto está alineado con los principios rectores de SingularityNET. Las propuestas que se diferencian con ideas únicas y enfoques creativos, así como las propuestas que fomentan la innovación al tiempo que se alinean con la misión y los valores de SingularityNET son muy alentadoras [86]. Una propuesta contiene:

- Un título descriptivo
- Una descripción clara que incluya cualquier información relevante (estudios de mercado, especificaciones técnicas, etc.), y muestre el valor de su idea o proyecto
- Una descripción de cada hito que pretende lograr con los entregables y presupuestos relacionados
- Todos los miembros conocidos del equipo, sus roles y un Curriculum Vitae para cada miembro
- Trabajo anterior relevante o estudios de casos que demuestren su capacidad para ejecutar la solución propuesta
- Detalles requeridos para la administración, incluyendo información de contacto, información fiscal y otros

La propuesta debe ser lo suficientemente detallada como para mostrar el valor de los resultados que se espera conseguir, pero lo suficientemente compacta y concisa como para ser fácilmente entendida y revisada por la comunidad, los expertos de la comunidad y los revisores de elegibilidad. Para presentar una solicitud hay una serie de reglas y directrices a tener en cuenta, y que se detallan a continuación:

1. Naturaleza del programa:
 - Financiación colectiva basada en subvenciones, sin necesidad de reembolso ni cesión de participaciones.
 - Buscan impulsar proyectos útiles de IA que promuevan un ecosistema abierto y democrático, alineado con la misión de SingularityNET.
2. Gobernanza comunitaria:
 - La presentación, evaluación y aprobación de propuestas se realiza mediante voto comunitario, retroalimentación de expertos y comentarios públicos.
 - Los equipos deben responder lo más rápidamente posible a preguntas de la comunidad, fomentando un diálogo colaborativo.

3. Criterios para las propuestas:
 - Deben alinearse con la misión de IA benévola, democrática e inclusiva.
 - Se valoran especialmente las solicitudes que:
 - Presenten una buena propuesta de valor y ajuste al mercado.
 - Estén respaldadas por un equipo completo y profesional.
 - Incluyan estándares éticos explícitos.
 - Demuestren viabilidad, con capacidad de generar tráfico de API o impacto medible.

4. Requisitos específicos para RFP (Requests for Proposals):
 - Cada RFP establece criterios claros: montos máximos, plazos, condiciones “Must-have”, “Should-have” o “Could-have”, y requisitos no funcionales (rendimiento, seguridad, documentación, etc.)

5. Caso especial: BGI (Beneficial General Intelligence) Nexus Round:
 - Dirigido a proyectos de impacto social o ambiental profundo, con fondos acumulados de 500 000 USD (hasta 50 000 USD por proyecto).
 - Se busca:
 - Beneficio tangible (social o ambiental) como objetivo principal.
 - Tecnología de IA con un componente central y éticamente sólido.
 - Equipo profesional y comunicación constante con el programa.
 - Independencia operativa en la ejecución a menos que se acuerde lo contrario con SingularityNET

6. Apartados que debe incluir la estructura de las propuestas:
 1. Resumen y justificación del problema.
 2. Solución técnica y descripción detallada.
 3. Presupuesto desglosado, incluidos ingresos esperados del uso de servicios API o alojamiento.
 4. Hoja de ruta con hitos y entregables, asignando fondos paso a paso (generalmente $\leq 20\,000$ USD por hito).
 5. Información del equipo y experiencia relevante.
 6. Transparencia sobre posibles límites legales.
 7. Preferentemente código abierto

7. Ética, transparencia y rendimiento:
 - Se valoran alto los proyectos éticos, cooperativos, enfocados a impacto positivo y que mantengan buena comunicación con la comunidad y con SingularityNET.

A.3.4.- Firma de contrato

En Deep Funding, los equipos que han sido adjudicados firman un contrato con la fundación proporcionando un compromiso y seguridad para ambas partes.

Cada equipo galardonado recibe un documento de Google: un borrador del contrato a su dirección de correo electrónico. Este borrador del contrato sirve para finalizar el contenido de cada contrato. Una vez finalizado el documento, DeepFunding enviará una versión final de su contrato como un archivo PDF a su dirección de correo electrónico a través de Dropsign.

Y una vez que se firme el contrato, su primer hito se activará automáticamente. Ahora se deberá implementar los entregables de cada hito como esté indicado en el contrato.

A.3.5.- Entrega de hitos y seguimiento

El siguiente paso son los Hitos Entregables, ya que cada propuesta tiene múltiples hitos, cada uno con entregables específicos y un presupuesto dedicado. Deep Funding distribuye fondos en función de los logros del hito, lo que significa que primero debe completar con éxito un hito para recibir fondos.

Milestone deliverable submission

This form is for teams with ongoing funded projects through Deep Funding. You can submit your milestone deliverable here. Check out our Gitbook to learn more about the process milestone deliverable review.

juan.anton02@goumh.umh.es [Cambiar de cuenta](#)



* Indica que la pregunta es obligatoria

Correo electrónico *

Registrar juan.anton02@goumh.umh.es como el correo que se incluirá al enviar mi respuesta

Mattermost *

Please add the Mattermost id of the person responsible of communication in your project

Tu respuesta

Round *

What round is your project part of?

- 1
- 2
- 3
- 4-Beta
- 4
- RFP1
- BGI1

Figura A.2: Formulario de entrega de hitos sección inferior

Project code *
What is your project code (i.e. DFR3-MKT3). If you are not sure feel free to check from [here](#).
(A mistake here will delay the process.)

Elige ▼

Project title *
What is the title or the name of your project?

Elige ▼

Milestone *
What is the number of the milestone you are submitting this deliverable for?

Elige ▼

Deliverable title *
What is the title of your deliverable?

Tu respuesta _____

Deliverable details *
All information the reviewer needs to know about your submitted deliverable
Add information as a Drive link.

Tu respuesta _____

Figura A.3: Formulario de entrega de hitos sección posterior

Cuando una propuesta ha sido aprobada y financiada, es obligatorio entregar evidencias de avance en cada uno de los hitos (milestones) establecidos. Para ello, la plataforma proporciona un formulario digital en el que se solicita:

- Código del proyecto (ej. DFR3-MKT3).
- Título del proyecto.
- Número de hito (milestone) que se está entregando.
- Título del entregable.
- Detalles del entregable, incluyendo enlaces a documentos o archivos (por ejemplo, mediante Google Drive).
- Correo del responsable del proyecto.
- ID de Mattermost para contacto directo con el equipo de revisión.
- Ronda a la que pertenece el proyecto (Ronda 1, 2, 3, 4-Beta, RFP1, BG11, etc.).

Este formulario es clave para asegurar la trazabilidad y la transparencia en el uso de los fondos descentralizados, ya que el seguimiento y la validación se realizan por parte de revisores comunitarios y expertos del ecosistema. La entrega correcta y documentada de cada hito es condición necesaria para acceder a los siguientes tramos de financiación.

Este sistema de entrega y revisión representa un modelo descentralizado de gobernanza en el que la comunidad tiene un rol activo en la selección, seguimiento y validación de los proyectos que reciben fondos. Se trata de una experiencia práctica y real de lo que significa participar en un ecosistema DeAI (Inteligencia Artificial Descentralizada), alineado con los principios de transparencia, colaboración y control distribuido.

A.3.6.- Revisión comunitaria

Dentro del Deep Funding se contribuye subiendo propuestas que eleven el juego de la Comunidad pero además se puede comentar y colaborar en las propuestas del resto de los proponentes. Es importante la etapa de revisión que dura aproximadamente un mes en donde la Comunidad tiene la oportunidad de reaccionar y comentar sobre las diferentes propuestas porque muchas veces es allí mismo donde se activa un proceso de edición y perfeccionamiento antes de la votación final. Y, aunque el Deep Funding se encuentra en constante experimentación y cada Ronda tiene diferentes reglas que son decididas de manera totalmente descentralizada por toda la Comunidad, su objetivo es repartir recompensas en FET a aquellos participantes que hagan comentarios de calidad y se relacionen de manera proactiva con los proponentes y sus propuestas.

También es fundamental que primen las reglas de convivencia y protocolos de conducta. Se prioriza la amabilidad y el respeto hacia todos los miembros de la comunidad y la cooperación en lugar de la competencia desleal.

A.3.7.- Votación

Una vez seleccionadas las propuestas elegibles, la votación dura una semana y se necesita tener FET y una cartera conectada a la red de Cardano o Ethereum para poder votar por los proyectos que nos parezcan superiores. Es importante que cada votante sepa y entienda lo que está votando.

Para la comunidad de SingularityNET es importante que todos los participantes del proceso de votación lo hagan de manera ética. Se han desarrollado una cantidad de herramientas para poder rastrear aquellas carteras que tienen como objetivo hackear la dinámica natural del proceso de votación del Deep Funding. Se pone mucha atención a los comportamientos que puedan llegar a ser perjudiciales para la comunidad y tras cada votación se analizan y estudian las posibles soluciones a comportamientos no deseados.

Por eso, es importante que, si se va a participar en el proceso de votación del Deep Funding en la próxima ronda, se haga de una manera consciente y entendiendo que el parámetro a tener en cuenta para decidir qué proyectos deberían ser financiados por la comunidad, es siempre cuánto responden al objetivo final y la misión de SingularityNET de descentralizar y democratizar la IA General (AGI).