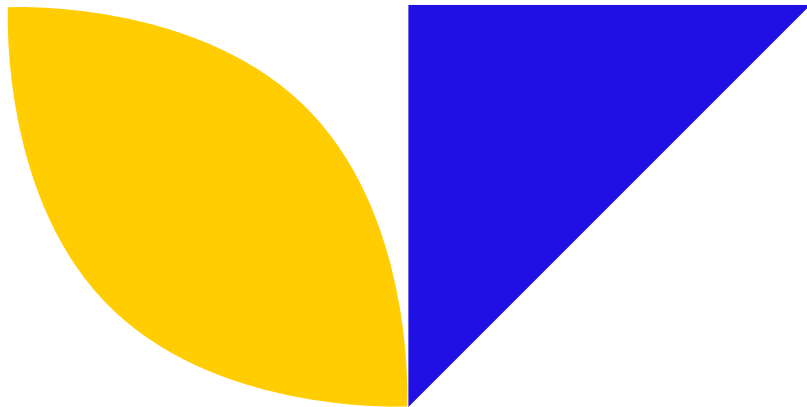
Módulo 1.

Tendencias tecnológicas emergentes: innovación e impacto

Parte 1

GENERACIÓN D · UNIÓN PROFESIONAL · Upro
Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU
GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA · SECRETARÍA DE ESTADO DE DIGITALIZACIÓN E INTELIGENCIA ARTIFICIAL · red.es
Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia

Índice



01

Introducción y marco general. Tendencias tecnológicas emergentes

Cómo se identifican, cómo se evalúan,
cómo se incorporan

Introducción y marco general

Definición operativa de tendencia tecnológica emergente

Tres rasgos simultáneos · sin ellos no hay tendencia, hay fenómeno aislado.

Los tres rasgos

- Novedad relativa · usabilidad accesible por primera vez fuera del laboratorio.
- Crecimiento no lineal · adopción, inversión, publicaciones académicas o citas crecen exponencialmente.
- Impacto sistémico potencial · capacidad para reconfigurar industrias, no sólo crear productos.

Falsos positivos comunes

- Producto exitoso de un único actor (ej. una app viral concreta).
- Hype mediático sin base técnica madura (ej. blockchain en 2017 para usos no financieros).
- Tecnología real pero confinada a un nicho (ej. impresión 3D fuera de prototipado).

Marco de referencia académico

- Rotolo, Hicks, Martin (2015) Research Policy · 18 papers revisados, 5 atributos clave.
- Convergencia con Diffusion of Innovations (Rogers, 1962) y curva del Hype (Gartner).

Referencias · Rotolo, Hicks, Martin (2015) Research Policy 44(10) · Rogers (1962/2003) Diffusion of Innovations

Introducción y marco general

Cuatro fuerzas que producen una tendencia tecnológica

Modelo causal · cuando concurren las cuatro, hay tendencia.

1 Avance técnico habilitador

- Un descubrimiento o ingeniería que rompe el estado del arte.
- Ejemplos: Transformer (2017), AlphaFold (2020), litografía EUV (2017).

2 Reducción drástica de coste

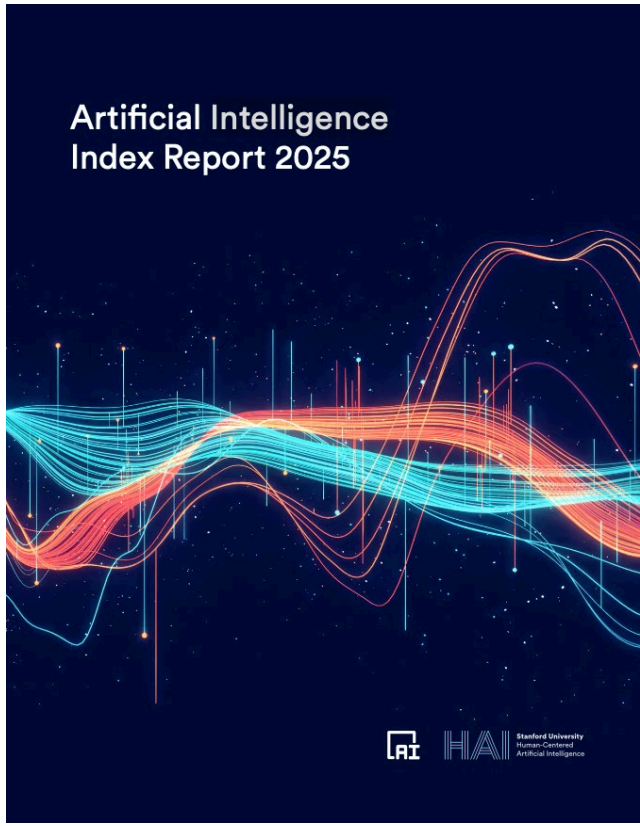
- El coste por unidad de capacidad cae órdenes de magnitud.
- Ej. coste por token GPT-4-class · de 60 USD/1M tokens (2023) a 0,15 USD (2025).

3 Caso de uso visible y medible

- ChatGPT como momento iPhone — interfaz que hace tangible la capacidad.
- Sin caso de uso visible, la tecnología se queda en publicaciones académicas.

4 Capital y atención sostenida

- Inversión privada, despliegue empresarial, regulación naciente.
- AI: inversión privada >100B USD anuales 2024 (Stanford AI Index).



Referencias · Stanford AI Index Report 2024 · Goldman Sachs (2023) The Potentially Large Effects of AI on Economic Growth / This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY

Introducción y marco general

Hype Cycle de Gartner

Modelo de atención mediática vs tiempo · útil como diagnóstico, no como predicción.

Cinco fases canónicas

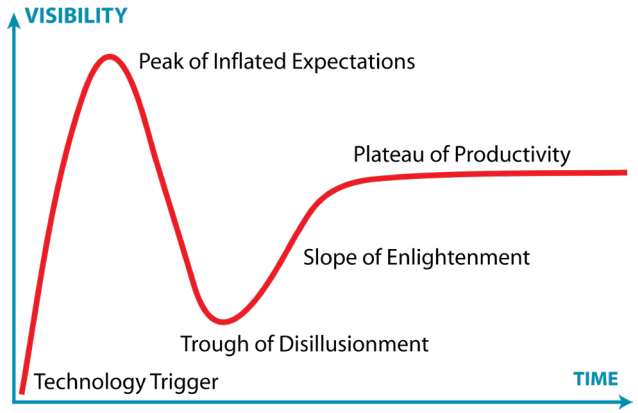
- Disparador de innovación · paper, demo, primera aplicación visible.
- Pico de expectativas infladas · atención masiva, inversión sin discriminar.
- Abismo de desilusión · fracasos públicos visibles, reflujo de capital.
- Rampa de iluminación · casos de uso reales sobreviven · disciplina técnica.
- Meseta de productividad · adopción sostenida, herramientas maduras.

Lectura crítica

- No es predictivo · una tecnología puede saltar fases o quedarse atascada.
- Útil como diagnóstico · ubicar dónde está hoy informa decisiones de inversión.
- Cada Hype Cycle anual sitúa decenas de tecnologías relativas, no absolutas.

Posicionamiento aproximado actual (2025)

- IA generativa · descenso desde el pico hacia el abismo.
- IA agéntica · pico de expectativas infladas.
- Blockchain (uso empresarial) · rampa de iluminación tras el abismo de 2022.
- Computación cuántica · todavía en disparador / pre-pico.



Referencias · Gartner Hype Cycle methodology · gartner.com/research/methodologies · Linden, Fenn (2003) Understanding Gartner's Hype Cycles | Imagen · Wikimedia Commons · "Gartner Hype Cycle" by Jeremykemp · CC BY-SA 3.0

Introducción y marco general

Curva de difusión de Rogers y el chasm de Moore

Modelo de adopción · 5 segmentos · el salto que mata productos.

Cinco categorías de adoptantes (Rogers, 1962)

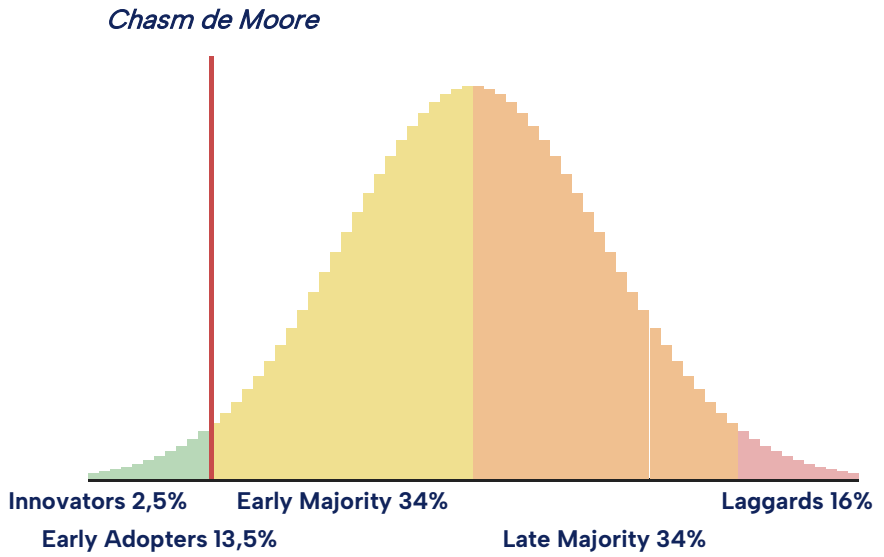
- Innovators · 2,5% · técnicos pioneros, exploradores.
- Early adopters · 13,5% · líderes de opinión, visionarios.
- Early majority · 34% · pragmáticos, exigen referencias.
- Late majority · 34% · escépticos, adoptan tarde por presión.
- Laggards · 16% · tradicionales, sólo si no queda alternativa.

El abismo de Moore (1991)

- Salto crítico entre Early adopters y Early majority (acumulado 16%).
- Cambia el público comprador: visionarios → pragmáticos.
- Donde mueren la mayoría de productos tech con tracción inicial.

Implicación práctica

- Conocer en qué segmento está vuestra empresa frente a una nueva tecnología.
- Adoptar como Early majority requiere referencias, integración estable, soporte.



Referencias · Rogers (1962/2003) Diffusion of Innovations · Moore (1991) Crossing the Chasm. | Diagrama propio · proporciones Rogers (1962) · línea Chasm de Moore (1991)

Las cuatro palancas de adopción · qué acelera y qué frena

Marco operativo para directores tecnológicos.

01

Capacidad técnica acumulada

- Personas con habilidades, código de calidad, datos limpios, infraestructura cloud-native.
- Aceleradora si está · gravísimo cuello de botella si falta.

02

Apetito de riesgo y gobernanza

- Capacidad organizativa de tolerar fallos controlados, marcos de aprobación claros.
- Aceleradora · permite pilotos rápidos · frena · si exige aprobaciones de 6 meses.

03

Alineamiento estratégico

- La tecnología responde a una pregunta de negocio real, no es solución buscando problema.
- Pregunta clave: ¿qué KPI específico mejora?.

04

Capacidad de cambio organizativo

- Procesos que se adaptan · personas que aceptan formación · sponsors ejecutivos.
- El factor más subestimado · suele ser el cuello de botella real.

Referencias · Westerman, Bonnet, McAfee (2014) Leading Digital · MIT Press · BCG (2024) AI at Scale · enterprise adoption survey

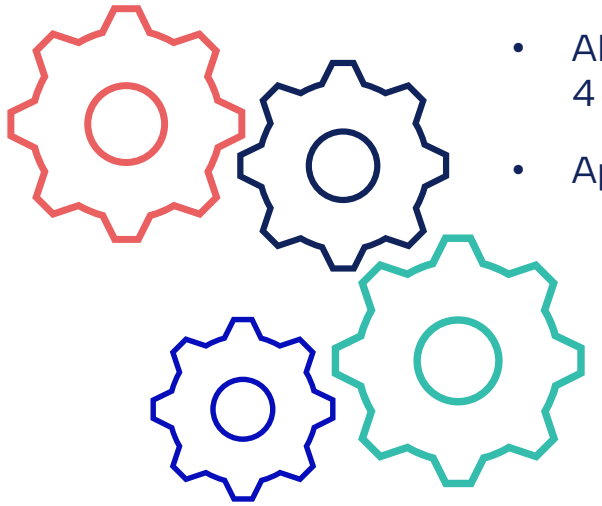
Introducción y marco general

Marco regulatorio europeo · arquitectura completa

No son normas aisladas · forma un sistema coherente.

Capa horizontal · datos y privacidad

- GDPR (2016/679, vigente 2018) · base · datos personales.
- Data Act (2023/2854, vigente sept 2025) · acceso a datos generados por dispositivos IoT.
- Data Governance Act · intermediación y reutilización de datos públicos.



Capa vertical · IA

- AI Act (2024/1689, escalonado 2025–2027) · 4 niveles de riesgo · obligaciones por nivel.
- Aplica a sistemas, no a tecnología abstracta.

Capa vertical · ciberseguridad

- NIS2 (2022/2555, vigente oct 2024) · OES y DSP, sectores críticos.
- DORA (2022/2554, vigente ene 2025) · resiliencia financiera operativa.
- CRA (Cyber Resilience Act, 2024/2847) · seguridad de productos con elementos digitales.

Capa vertical · sectores específicos

- MiCA (2023/1114) · cripto-activos · vigente 30 dic 2024.
- Regulación contenidos · DSA, DMA · plataformas digitales.

Referencias · EUR-Lex · eur-lex.europa.eu · European Commission · digital-strategy.ec.europa.eu

Introducción y marco general

Soberanía digital europea · Chips Act y ecosistema cloud

Por qué el debate es estratégico, no ideológico.

Diagnóstico de partida

- EU produce ~9% de chips mundiales (era 24% en 1990) · objetivo Chips Act: 20% en 2030.
- Hyperscalers (AWS, Azure, GCP) controlan >70% del mercado cloud europeo.
- Modelos frontier de IA dominados por USA y China · ningún europeo en top 5 en 2025.

Dilemas estratégicos

- Soberanía total imposible · ¿qué nivel mínimo asegurar?
- Coste de duplicar capacidad existente vs depender de aliados.
- Aspectos críticos: silicio para defensa, modelos IA en sectores soberanos, infraestructura cloud para sanidad y administración.

Respuestas regulatorias y de inversión

- EU Chips Act (2023) · 43.000 M€ públicos · ASML, Intel Magdeburg, TSMC Dresden.
- GAIA-X · cloud federado europeo · adopción modesta · debate sobre eficacia.
- EuroHPC · supercomputación pública · LUMI, Leonardo, MareNostrum 5.
- AI Factories · 7 instalaciones EU para entrenar modelos europeos · 2024–2026.

Referencias · EU Chips Act · digital-strategy.ec.europa.eu/policies/chips-act · GAIA-X Foundation · gaia-x.eu · EuroHPC Joint Undertaking · eurohpc-ju.europa.eu

Introducción y marco general

Sostenibilidad como límite estructural

No es ESG cosmético · es restricción física real para escalar.

Datos del problema

- Datacenters globales · 1–2% consumo eléctrico mundial (IEA 2024) · proyección 4–6% en 2030.
- Una consulta a GPT-4: ~10× la energía de una búsqueda Google clásica.
- Entrenamiento GPT-4 · ~50.000 MWh · equivalente a 5.000 hogares un año.

Respuestas en marcha

- Microsoft + Three Mile Island · reactivación reactor nuclear para datacenters AI (2024).
- Amazon · 24/7 carbon-free energy · acuerdos PPA con eólica y solar.
- Google DeepMind · TPUs hasta 4× más eficientes que GPUs comparables.
- EU CSRD (2022/2464) · reporting obligatorio de huella climática.

Implicaciones para arquitectos

- Decidir CUÁNDO usar IA generativa · no en todas las consultas.
- Foveated compute · usar modelos pequeños cuando bastan.
- Localización geográfica · mover entrenamiento a regiones con energía baja en carbono.
- Métricas de sostenibilidad como KPIs operativos, no cosmética ESG.

Referencias · IEA (2024) Electricity 2024 · iea.org/reports/electricity-2024 · Patterson et al. (2021) The Carbon Footprint of Machine Learning Training Will Plateau

Introducción y marco general

El nuevo perfil del ingeniero informático

Lo que el rol exige hoy frente a hace 5 años.

Habilidades técnicas en alza

- Ingeniería de prompts y de contexto · saber cuándo y cómo usar LLMs en pipelines.
- Diseño de sistemas IA-native · RAG, agentes, evaluación, observabilidad.
- Seguridad reforzada · OWASP Top 10 LLM, supply chain, SBOM.
- Eficiencia y coste · medir y optimizar tokens, GPU horas, latencia.

Habilidades técnicas que pierden centralidad

- Programación de UI rutinaria · cubierta por copilotos.
- Boilerplate de backend CRUD · generado y refactorizado por IA.
- Ciertos roles QA manual · automatizables con agentes.

Habilidades blandas que ganan peso

- Pensamiento crítico para evaluar outputs probabilísticos.
- Comunicación con stakeholders no técnicos sobre limitaciones de IA.
- Capacidad de aprender continuamente · stack cambia cada 12–18 meses.
- Ética y responsabilidad profesional.

Convergencia disciplinar

- Software + ML + cyber + cumplimiento normativo · fronteras desdibujadas.
- Roles emergentes: AI engineer, prompt architect, AI governance officer.

Referencias · Stanford HAI (2024) AI Index Report · workforce chapter · Chip Huyen (2024) Designing Machine Learning Systems

Introducción y marco general

Mapa de los ocho vectores tecnológicos de la acción formativa

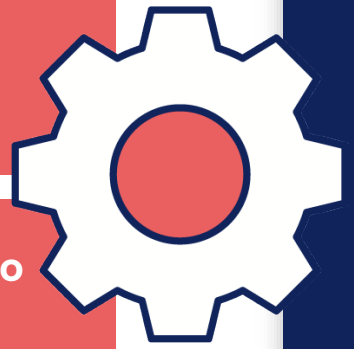
Coherencia de la primera y segunda mitad · 5 horas cada una.

Primera mitad · 5 horas · enfoque profundo

- Unidad 1 · Esta introducción.
- Unidad 2 · Inteligencia Artificial.
- Unidad 3 · Blockchain.
- Unidad 4 · Realidad virtual y aumentada.

Segunda mitad · 5 horas · operacional y crítico

- Unidad 5 · Cloud y Big Data.
- Unidad 6 · IoT.
- Unidad 7 · Ciberseguridad (incluye ciber + IA).
- Unidad 8 · Computación cuántica + cierre.



Hilo conductor · cuatro preguntas en cada bloque

- ¿Qué es y qué no es? (definición operativa).
- ¿Cómo funciona técnicamente? (lo justo para decidir).
- ¿Dónde está hoy? (Hype Cycle + adopción real).
- ¿Qué hago el lunes? (acciones para vuestro rol).

Introducción y marco general

Métodos de evaluación de tendencias para profesionales

Filtros prácticos para distinguir señal de ruido.

Análisis cualitativo

- PESTEL adaptado a tech · Político · Económico · Social · Tecnológico · Ecológico · Legal.
- SWOT específico · oportunidad para nuestra organización vs competencia.
- Análisis de stakeholders · ¿quién gana, quién pierde con esta tecnología?

Análisis cuantitativo

- Bibliometría · papers/citaciones por año (Google Scholar, Web of Science).
- Inversión privada · CB Insights, PitchBook, Crunchbase.
- Patentes · Espacenet, USPTO · indicador adelantado de comercialización.
- Adopción · informes Gartner, IDC, Forrester · benchmarks sectoriales.

Filtros de criterio profesional

- Wardley Mapping · ubicar componentes en evolution-stages.
- Test de los "cinco años" · ¿esta tecnología existirá en 5 años? ¿En qué forma?
- Test del "compromiso reversible" · ¿podemos abandonarla si falla?

Fuentes recomendadas

- ACM Communications · IEEE Spectrum · arXiv (revisado).
- MIT Technology Review · Nature/Science (selectos).
- Anthropic Research Blog · Google DeepMind Blog · OpenAI Research.

Referencias · Wardley · learnwardleymapping.com · Stanford AI Index · aiindex.stanford.edu

Introducción y marco general

Convergencia tecnológica como acelerador estructural

El efecto multiplicador entre vectores.

Convergencias en marcha · ejemplos verificados

- IA + biotecnología · AlphaFold 3 · proteínas, ácidos nucleicos · DeepMind 2024.
- IA + robótica · Figure 02, Tesla Optimus · agentes embodied · 2024–2025.
- IA + cuántica · simulación química con LLM + simulador cuántico · IBM, Google.
- Blockchain + IoT · supply chain con sensores (MediLedger, IBM Food Trust).
- Cloud + Big Data + IA · stack productivo de cualquier empresa data-driven.

Por qué importa para vuestra empresa

- Las tendencias no se evalúan aisladas · se evalúan en sistema.
- Una empresa que adopta IA sin Big Data limpio NO obtiene retorno.
- Una empresa con IoT sin ciberseguridad multiplica superficie de ataque.
- Una iniciativa blockchain sin caso B2B real es desperdicio de capital.

Implicación organizativa

Equipos cross-funcionales · no silos por tecnología.

Roadmaps integrados · no roadmap de IA + roadmap de cloud + roadmap de seguridad separados.

Competencias híbridas en plantilla · esto es el cambio profesional más profundo.

Referencias · Roco, Bainbridge (2003) Converging Technologies for Improving Human Performance · Stanford AI Index Report 2024

Introducción y marco general

Cierre · qué nos llevamos a la unidad 2

01 Una tendencia es novedad relativa + crecimiento no lineal + impacto sistémico · sin las tres a la vez es fenómeno aislado.

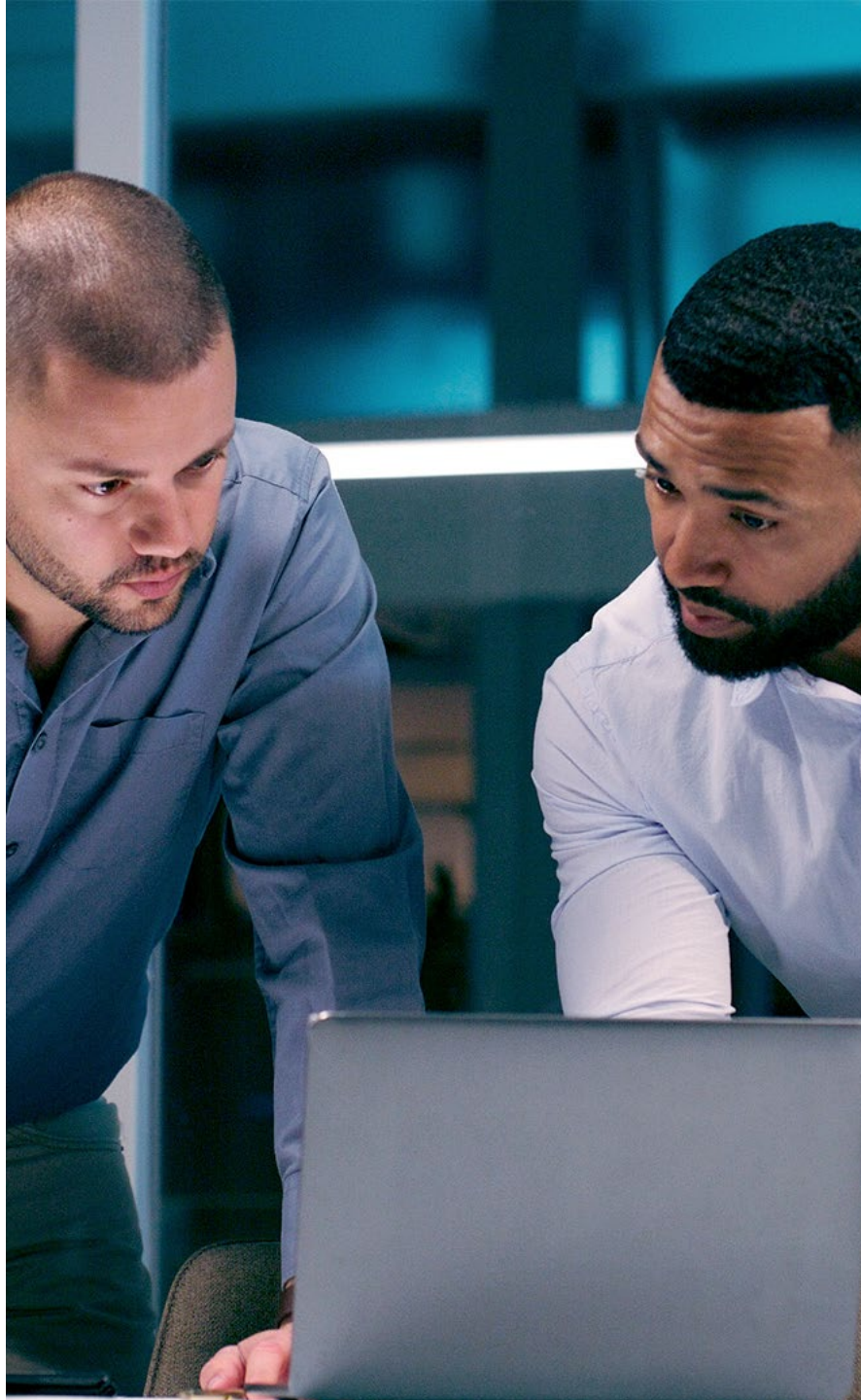
02 Hype Cycle + Curva de Rogers son los dos diagnósticos que merecen estar en cualquier comité tecnológico.

03 El marco europeo (GDPR, AI Act, NIS2, DORA, MiCA, CRA) es denso pero coherente · navegar el sistema da certidumbre operativa.

04 Soberanía digital y sostenibilidad son restricciones físicas y geopolíticas reales · no slogans.

05 El nuevo perfil profesional combina software + ML + cyber + cumplimiento · convergencia disciplinar.

06 La convergencia entre vectores es lo que multiplica · evaluar tendencias en sistema, no aisladas.



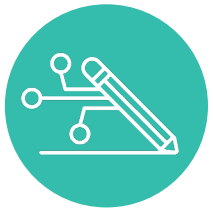
02

Inteligencia Artificial · estado del arte y disciplinas profesionales

Fundamentos · LLMs · agentes · MLOps · seguridad · regulación · taller aplicado

Definición operativa de Inteligencia Artificial

No discutimos qué es "inteligencia"; discutimos qué problemas resuelven los sistemas.

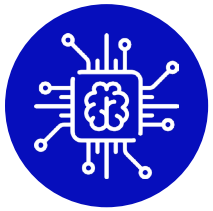


Definición de trabajo

- Conjunto de técnicas que permiten a una máquina realizar tareas que, ejecutadas por un humano, atribuiríamos a inteligencia: percibir, razonar, aprender, decidir, comunicarse.
- Operativa, no filosófica. La pregunta "¿es realmente inteligente?" no produce decisiones de negocio.

Cuatro capacidades que definen la IA moderna

- Aprender de ejemplos · Machine Learning clásico (1990s–presente, vigente).
- Generalizar · Deep Learning, AlexNet 2012 abrió la era moderna.
- Generar contenido original · IA generativa, Transformers 2017 → ChatGPT 2022.
- Actuar con autonomía · IA agéntica, frontera 2024–presente.



Tres palancas del salto reciente

- Cómputo: NVIDIA H100/B200, TPU v5/v6, miles de millones de FLOPs accesibles.
- Datos: corpus masivos (Common Crawl, datasets curados, datos sintéticos).
- Arquitectura: Transformer escalable (Vaswani et al. 2017).

Referencias · Russell, Norvig (2020) "Artificial Intelligence: A Modern Approach" 4th ed. · Vaswani et al. (2017) "Attention is All You Need" arxiv.org/abs/1706.03762

Línea del tiempo de la IA · hitos seleccionados

70 años de campo, 5 años de cambio drástico estructural.

1950–200

Periodo simbólico

- 1950 · Turing publica "Computing Machinery and Intelligence" (Mind).
- 1956 · Conferencia de Dartmouth — McCarthy acuña "Artificial Intelligence".
- 1980s · Sistemas expertos (XCON, MYCIN); primer boom comercial.
- 1990s · "AI Winter" — recortes de financiación; trabajo silencioso en SVMs.

2000–2020

Era estadística y profunda

- 2006 · Hinton et al. revitalizan deep learning con deep belief networks.
- 2012 · AlexNet (Krizhevsky, Sutskever, Hinton) gana ImageNet con CNN — "momento Big Bang".
- 2014 · Goodfellow propone GANs (Generative Adversarial Networks).
- 2017 · Vaswani et al. publican Transformer en NeurIPS.
- 2018–2020 · BERT, GPT-2, GPT-3 — escalado de Transformers a tamaños inéditos.

2020–presente

Era generativa y agéntica

- Nov 2022 · ChatGPT — adopción masiva, 100 M usuarios en 2 meses.
- 2023 · GPT-4, Claude 1, Llama 2, Mistral 7B; explosión de open weights.
- 2024 · Multimodalidad nativa (GPT-4o, Gemini), modelos de razonamiento (o1, R1).
- Reciente · Era agéntica — Devin, Computer Use, agentes con tool calling masivo.

Referencias · Stanford AI Index 2024 — aiindex.stanford.edu · Russell, Norvig (2020) "AIMA" 4th ed., capítulo 1 — historia · ourworldindata.org/artificial-intelligence

Inteligencia Artificial · estado del arte y disciplinas profesionales

Línea del tiempo de la IA · hitos seleccionados

70 años de campo, 5 años de cambio drástico estructural.

Aprendizaje supervisado

- Datos etiquetados (input → output esperado); función objetivo: minimizar pérdida sobre etiquetas.
- Ejemplos: clasificación de fraude, scoring de crédito, detección de defectos en visión.
- Limitante: etiquetar es caro; calidad de etiquetas determina calidad del modelo.

Aprendizaje no supervisado

- Sin etiquetas; función objetivo: encontrar estructura (clusters, densidad, factores latentes).
- Técnicas: k-means, GMM, PCA, autoencoders, contrastive learning.
- Aplicación menos visible pero crítica: pre-entrenamiento de LLMs es no supervisado (next-token prediction).

Aprendizaje por refuerzo

- Agente · entorno · acciones · recompensas; función objetivo: maximizar recompensa acumulada.
- Hitos: TD-Gammon (1992), AlphaGo (2016), AlphaZero (2017), AlphaStar (2019).
- Aplicación contemporánea crítica: RLHF — Reinforcement Learning from Human Feedback (Christiano et al. 2017).

Cómo se combinan en LLMs modernos

- Paso 1 · Pre-entrenamiento no supervisado con corpus masivo (next-token).
- Paso 2 · Fine-tuning supervisado con instrucciones humanas curadas (SFT).
- Paso 3 · RLHF o DPO (Direct Preference Optimization) para alineamiento con preferencias.

Referencias · Christiano et al. (2017) "Deep RL from Human Preferences" arxiv.org/abs/1706.03741 · Ouyang et al. (2022) "Training language models to follow instructions with human feedback" InstructGPT · Rafailov et al. (2023) "Direct Preference Optimization" arxiv.org/abs/2305.18290

ML clásico vs Deep Learning · cuándo cada uno

ML clásico (gradient boosting, regresión, árboles)

- Datos estructurados, tabulares (filas y columnas).
- Algoritmos interpretables (SHAP, feature importance).
- Funciona con miles de ejemplos.
- Coste de inferencia bajo, latencia ms.
- Estado del arte en banca, scoring, fraude tabular.
- Frameworks: XGBoost, LightGBM, CatBoost, scikit-learn.
- Sigue siendo la mayoría de IA en producción 2024.

Deep Learning (CNNs, Transformers)

- Datos no estructurados (texto, imagen, audio, vídeo).
- Caja negra; explicabilidad limitada (atribución, gradient maps).
- Necesita millones de ejemplos y GPUs.
- Coste de inferencia alto, latencia 100ms–segundos.
- Estado del arte en visión, NLP, generación, biología (AlphaFold).
- Frameworks: PyTorch (dominante), JAX, TensorFlow (legacy).
- Crece pero NO sustituye al ML clásico universalmente.

Referencias · Grinsztajn et al. (2022) "Why do tree-based models still outperform deep learning on tabular data?" NeurIPS · Shwartz-Ziv, Armon (2022) "Tabular Data: Deep Learning is Not All You Need" Information Fusion

Arquitectura Transformer · la pieza clave

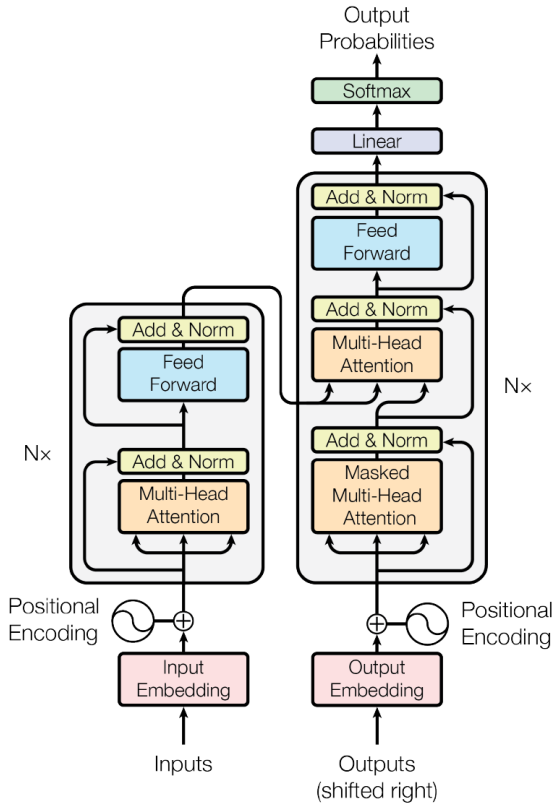
Atención multi-cabeza, paralelización, generalidad.

La idea central

- Procesar todos los tokens en paralelo, no secuencialmente como RNNs/LSTMs.
- Cada token "presta atención" a todos los demás vía mecanismo de scaled dot-product attention.
- Capas de self-attention + feed-forward apiladas en bloques residuales.

Tres consecuencias estructurales

- Paralelización · entrenamiento eficiente en GPUs/TPUs (a diferencia de RNNs secuenciales).
- Scaling laws · más parámetros + más datos = mejor desempeño de forma predecible (Kaplan et al. 2020).
- Generalidad · misma arquitectura aplicada a texto, imagen (ViT), audio (Whisper), código, biología (AlphaFold), proteínas.



Variantes principales

- Encoder-only · BERT, RoBERTa — clasificación, embeddings.
- Decoder-only · GPT, Llama, Claude — generación autoregresiva (dominante en 2024).
- Encoder-decoder · T5, original Transformer — traducción, summarization.

Optimizaciones recientes

- Flash Attention (Dao et al. 2022) — memoria y velocidad.
- Mixture of Experts (Mixtral, DeepSeek) — más parámetros, mismo cómputo activo.
- Grouped-query attention, sliding window — eficiencia en contextos largos.

Referencias · Vaswani et al. (2017) "Attention is All You Need" arxiv.org/abs/1706.03762 · Kaplan et al. (2020) "Scaling Laws for Neural Language Models" arxiv.org/abs/2001.08361 · Hoffmann et al. (2022) "Training Compute-Optimal LLMs" (Chinchilla) arxiv.org/abs/2203.15556 · Dao et al. (2022) "FlashAttention" arxiv.org/abs/2205.14135 /

Cómo se entrena un LLM moderno · tres etapas

01

Etapa 1 · Pre-training

- Objetivo: predecir siguiente token sobre corpus masivo (next-token prediction).
- Datos: trillones de tokens (Common Crawl filtrado, libros, código, papers académicos).
- Cómputo: cluster de miles de GPUs durante meses; coste ~$50-200M para frontera.
- Resultado: modelo que sabe MUCHO pero no sigue instrucciones.

02

Etapa 2 · Fine-tuning supervisado (SFT)

- Objetivo: enseñar al modelo a seguir instrucciones humanas.
- Datos: miles a millones de ejemplos curados por humanos (instruction tuning).
- Cómputo: días en cluster pequeño; mucho más barato que pre-training.
- Resultado: modelo que sigue instrucciones razonablemente.

03

Etapa 3 · Alineamiento por preferencias (RLHF / DPO)

- Objetivo: alinear el modelo con preferencias humanas matizadas (utilidad, seguridad, no toxicidad).
- Datos: cientos de miles a millones de comparaciones "respuesta A vs B".
- RLHF · entrenar reward model; usar PPO. DPO · alternativa que evita el reward model.
- Constitutional AI (Anthropic) · usar IA para evaluar respuestas según principios escritos.

Quién puede hacer cada etapa

- Etapa 1 frontier: ~10 organizaciones globales (OpenAI, Anthropic, Google, Meta, xAI, Mistral, Alibaba, DeepSeek, ByteDance, NVIDIA).
- Etapas 2 y 3: cualquier organización con datos curados y unos miles de € en cómputo.

Referencias · Ouyang et al. (2022) "InstructGPT" arxiv.org/abs/2203.02155 · Bai et al. (2022) "Constitutional AI" arxiv.org/abs/2212.08073 · Touvron et al. (2023) "Llama 2" arxiv.org/abs/2307.09288 (paper técnico detallado).

Capacidades y límites de los LLMs frontier

Capacidades sólidas (estado del arte)

- Comprensión y generación de lenguaje natural en docenas de idiomas.
- Generación y revisión de código (productividad medida +20–40 % con uso correcto).
- Extracción de información de documentos no estructurados (contratos, facturas, informes).
- Resumen, traducción, paráfrasis con preservación de matices.
- Razonamiento multipaso explícito (modelos o1, R1, Claude 3.5 Sonnet con thinking).
- Multimodalidad: texto + imagen + audio + vídeo + código en un mismo modelo.

Límites y modos de fallo

- Alucinaciones · generación confiada de información falsa.
- Razonamiento de muchos pasos sin estructura: precisión decae exponencialmente.
- Matemáticas exactas: el modelo predice tokens, no calcula. Solución: tool use.
- Fecha de corte de entrenamiento: información posterior requiere búsqueda externa o RAG.
- Sesgo y representación: refleja sesgos del corpus de entrenamiento.
- Contexto limitado (128k–2M tokens según modelo): no recuerda conversaciones largas sin RAG.

Referencias · Stanford AI Index 2024 — capítulo de capacidades · Bender et al. (2021) "On the Dangers of Stochastic Parrots" FAccT 2021 · Hendrycks et al. (2021) "MMLU" benchmark — arxiv.org/abs/2009.03300.

Inteligencia Artificial · estado del arte y disciplinas profesionales

Panorama de modelos cerrados (frontier)

Arquitectura comercial dominante; ofrecidos vía API.

OpenAI

- GPT-4o · multimodal frontier (texto, imagen, audio, vídeo).
- o-series (o1, o3) · modelos de razonamiento explícito; orden de magnitud más caros por respuesta.
- Asociación estratégica con Microsoft (Azure OpenAI Service).
- API: platform.openai.com.

Google DeepMind

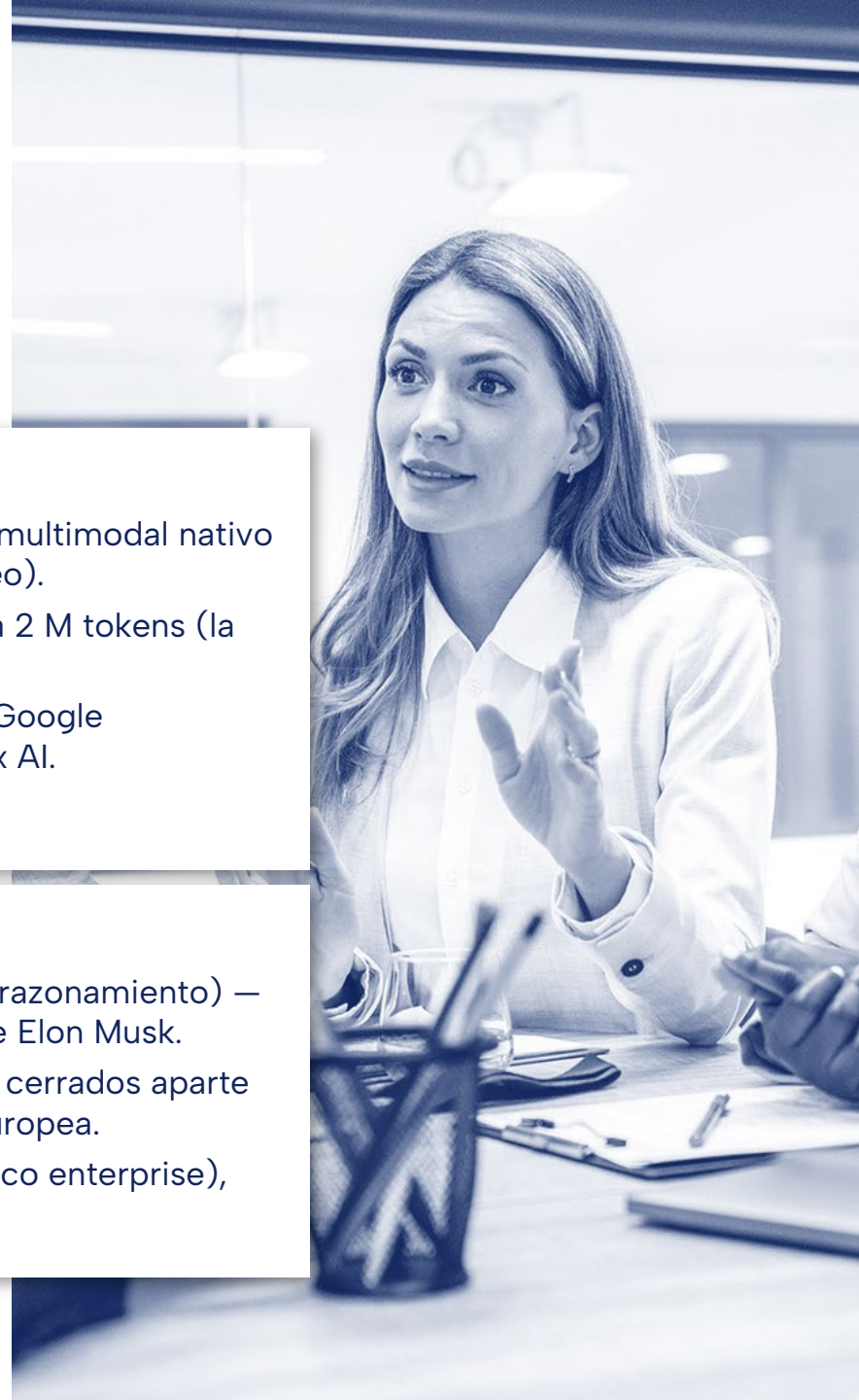
- Gemini 1.5 Pro, 2.0 Flash · multimodal nativo (texto, imagen, audio, vídeo).
- Ventana de contexto hasta 2 M tokens (la mayor del mercado).
- Integración profunda con Google Workspace, Search, Vertex AI.
- API: ai.google.dev.

Anthropic

- Claude 3.5 Sonnet, Claude 3 Opus, Haiku · alineamiento via Constitutional AI.
- Particularmente fuerte en código, razonamiento, instrucciones largas.
- Computer Use API · primer modelo comercial que controla un ordenador (GUI).
- API: anthropic.com.

Otros relevantes

- xAI · Grok-2, Grok-3 (con razonamiento) — desarrollado por equipo de Elon Musk.
- Mistral · Le Chat (modelos cerrados aparte de los abiertos), opción europea.
- Cohere · Command R+ (foco enterprise), Aya (multilingüe).



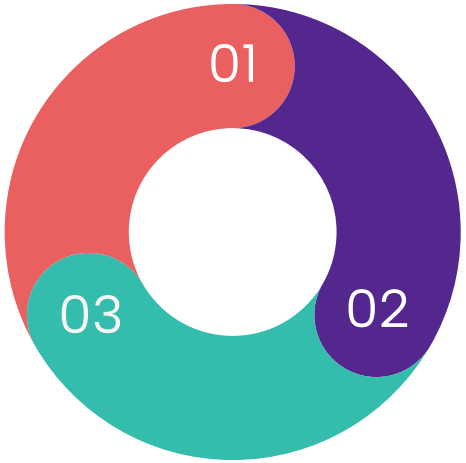
Referencias · Hugging Face LLM Performance Leaderboard — huggingface.co/spaces/lmsys/chatbot-arena-leaderboard · Artificial Analysis · independent benchmarking — artificialanalysis.ai

Panorama de modelos abiertos (open weights)

Pesos descargables, despliegue propio, soberanía y coste a escala.

Familias principales

- Llama (Meta) · 8B, 70B, 405B; licencia permisiva con restricciones para empresas grandes.
- Mistral / Mixtral (Francia) · 7B, 8x7B (MoE), 8x22B; MoE eficiente.
- Qwen (Alibaba) · 0.5B–72B, multilingüe potente, fuerte en chino e inglés.
- DeepSeek (China) · DeepSeek-V3 (685B MoE, 37B activos), DeepSeek-R1 (razonamiento abierto)
- Phi (Microsoft) · modelos pequeños eficientes (3-14B) entrenados con datos sintéticos curados.
- Gemma (Google) · 2B-27B, alternativa Google a la familia Llama.



Cuándo elegir abierto

- Soberanía de datos · información sensible no debe salir a APIs externas.
- Volumen alto · coste por token vía API >> coste de operar modelo propio.
- Personalización profunda · fine-tuning específico de dominio.
- Cumplimiento AI Act alto riesgo · trazabilidad y auditoría completa.

Infraestructura común

- Hugging Face Hub · catálogo, transformers, accelerate, PEFT (LoRA, QLoRA).
- Servidores: vLLM, TGI (HuggingFace), TensorRT-LLM (NVIDIA), Ollama (local).
- Orquestación: LangChain, LlamaIndex, LangGraph (agentes).

Referencias · Touvron et al. (2024) "Llama 3" technical report — ai.meta.com/research · Jiang et al. (2024) "Mixtral of Experts" arxiv.org/abs/2401.04088 · DeepSeek-AI (2024) "DeepSeek-V3 Technical Report" arxiv.org/abs/2412.19437.

Multimodalidad nativa · texto, imagen, audio, vídeo, código

Los modelos foundation modernos procesan varias modalidades en un único pase.

Capacidades multimodales actuales

- Texto · todos los modelos foundation modernos.
- Imagen → texto · GPT-4o, Claude 3.5, Gemini, Llama 3.2 Vision.
- Imagen → imagen · Stable Diffusion 3, FLUX.1, DALL-E 3, Imagen 3.
- Audio · Whisper (transcripción), ElevenLabs (síntesis), Suno/Udio (música).
- Vídeo · Sora (OpenAI), Veo 2 (Google), Runway Gen-3, Kling, Hailuo MiniMax.
- 3D · DreamFusion, Stable3D, NVIDIA Edify 3D.

Casos prácticos en empresa

- Lectura automática de facturas, contratos, recibos con preservación de estructura.
- Análisis de llamadas (voz → texto → sentimiento, temas, acciones).
- Resumen de reuniones grabadas con identificación de hablantes.
- Generación de assets visuales para marketing (con C2PA para autoría).
- BI conversacional · pregunta en lenguaje natural sobre datos estructurados.

Limitaciones a tener presentes

- Generación de vídeo aún cara y limitada en duración (~10-60 s).
- Music gen con derechos de autor pendientes de jurisprudencia (Suno/Udio demandados).
- Generación de imágenes y deepfakes plantean retos de autenticidad (C2PA emergente).

Referencias · OpenAI Sora technical report — openai.com/sora · Whisper paper · Radford et al. (2022) — arxiv.org/abs/2212.04356 · C2PA · Coalition for Content Provenance and Authenticity — c2pa.org.

Modos de fallo · cómo se rompen los LLMs en producción

Diagnóstico de fallos típicos y mitigaciones probadas.

Alucinaciones (hallucination)

- El modelo genera información falsa con apariencia confiada (citas inventadas, APIs inexistentes, datos numéricos plausibles pero incorrectos).
- Mitigación: RAG con citas verificables, prompt instructions "si no sabes, di no sé", LLM-as-judge para detección automática.
- Frameworks: Ragas, TruLens, OpenAI Evals, Anthropic eval.

Drift de comportamiento

- El proveedor actualiza el modelo silenciosamente y tu output cambia.
- Mitigación: pin a versiones específicas (gpt-4o-2024-11-20, claude-3-5-sonnet-20241022); regression testing automático.

Costes runaway

- Bug en orquestación → agente itera 100 veces; factura mensual ×100.
- Mitigación: presupuestos por request y por usuario, alertas en tiempo real, max iterations en agentes.

Inyección de prompts (security)

- Atacante inserta instrucciones en datos que el LLM lee (correo, web, documento).
- Mitigación: separación contexto sistema/usuario, sanitización, guardrails I/O, principio de mínimo privilegio en tool use.
- Referencia: OWASP Top 10 for LLM Applications.

Sesgo y representación

- El modelo refleja sesgos del corpus; en decisiones sensibles puede discriminar grupos.
- Mitigación: tests de fairness desagregados por grupo, evaluación humana, supervisión.

Referencias · OWASP Top 10 for LLM Applications — owasp.org/www-project-top-10-for-large-language-model-applications · Bender et al. (2021) "Stochastic Parrots" — FAccT 2021 · AI Incident Database — incidentdatabase.ai

RAG · Retrieval-Augmented Generation

Patrón empresarial dominante para integrar conocimiento propio en LLMs.

El problema y la idea

- Problema: el LLM no conoce los documentos, datos y políticas de tu organización.
- Idea: recuperar contexto relevante en tiempo de consulta y pasarlo al modelo.
- No requiere reentrenar; actualización instantánea; trazabilidad por citas.

Arquitectura básica (4 pasos)

1. Indexar · documentos → chunks → embeddings → base vectorial.
2. Recuperar · query → embedding → top-K chunks por similitud.
3. Generar · LLM con prompt = pregunta + chunks + instrucciones.
4. Citar · respuesta enlaza a documentos fuente.

Patrones avanzados

- Hybrid search · combina denso (vectorial) + esparso (BM25) para precisión.
- Reranking · cross-encoder (Cohere Rerank, ColBERT) sobre top-K para reordenar.
- Contextual retrieval (Anthropic 2024) · enriquecer chunks con contexto del documento.
- GraphRAG (Microsoft 2024) · grafo de conocimiento + retrieval → mejor en preguntas globales.
- Agentic RAG · agente decide qué buscar y cuándo.

Stack común

- Bases vectoriales: Pinecone, Weaviate, Qdrant, Milvus, pgvector (PostgreSQL).
- Frameworks: LangChain, LlamaIndex, Haystack.
- Embeddings: OpenAI text-embedding-3, Cohere Embed v3, BGE (open), Voyage.

Referencias · Lewis et al. (2020) "Retrieval-Augmented Generation" arxiv.org/abs/2005.11401 · Anthropic (2024) "Contextual Retrieval" — anthropic.com/news/contextual-retrieval · Microsoft GraphRAG · microsoft.github.io/graphrag

Fine-tuning · cuándo tiene sentido y cuándo no

Está sobrevalorado. La regla práctica es "empieza por prompt, luego RAG, fine-tune solo si todo lo demás falla".

Cuándo fine-tunear (sí)

- Estilo o tono específico que prompt no captura consistentemente.
- Formato de salida estricto y repetitivo (JSON con esquema fijo).
- Dominio con vocabulario propio (legal español, ICD-10 médico, CAD ingeniería).
- Coste a escala alta · modelo pequeño fine-tuneado puede ser 10-100× más barato que API.

Cuándo NO fine-tunear

- Para enseñar conocimiento puro · usa RAG (mucho más barato y actualizable).
- Si los datos cambian con frecuencia · reentrenar continuo es inviable.
- Si tienes pocos ejemplos · <500 ejemplos de calidad → sobreajuste, beneficio nulo.

Técnicas modernas (PEFT)

- LoRA (Hu et al. 2021) · Low-Rank Adaptation; reentrena solo matrices pequeñas (~1 % de parámetros)
- QLoRA (Dettmers et al. 2023) · LoRA + cuantización 4-bit; permite fine-tune de 70B+ en 1-2 GPUs
- DPO (Direct Preference Optimization) · alineamiento sin reward model intermedio

Stack práctico

- Frameworks: HuggingFace TRL, axolotl, LLaMA-Factory, Unsloth (eficiencia extrema).
- Serving del modelo fine-tuneado: vLLM con LoRA adapters cargados dinámicamente.

Referencias · Hu et al. (2021) "LoRA" arxiv.org/abs/2106.09685 · Dettmers et al. (2023) "QLoRA" arxiv.org/abs/2305.14314 · Rafailov et al. (2023) "DPO" arxiv.org/abs/2305.18290.

Inteligencia Artificial · estado del arte y disciplinas profesionales

Matriz de decisión · prompt · RAG · fine-tuning · agente

Empezar por lo más simple. Cada nivel implica más coste e infraestructura.

01

Nivel 1 · Prompt engineering (siempre primero)

- Cuándo: tareas que requieren conocimiento general + razonamiento estándar.
- Coste: marginal (solo tokens). Tiempo: horas-días.
- Resuelve aprox. 60 % de casos empresariales.

02

Nivel 2 · RAG (si Nivel 1 no basta por conocimiento privado)

- Cuándo: el modelo necesita información que no tiene (documentos internos, datos cambiantes).
- Coste: base vectorial + indexación + reranking. Tiempo: días-semanas.
- Resuelve aprox. 30 % adicional.

03

Nivel 3 · Fine-tuning (solo si lo anterior no resuelve)

- Cuándo: estilo, formato, dominio o coste a escala alta justifica el esfuerzo.
- Coste: datos curados + cómputo + mantenimiento. Tiempo: semanas-meses.
- Resuelve el 10 % restante.

04

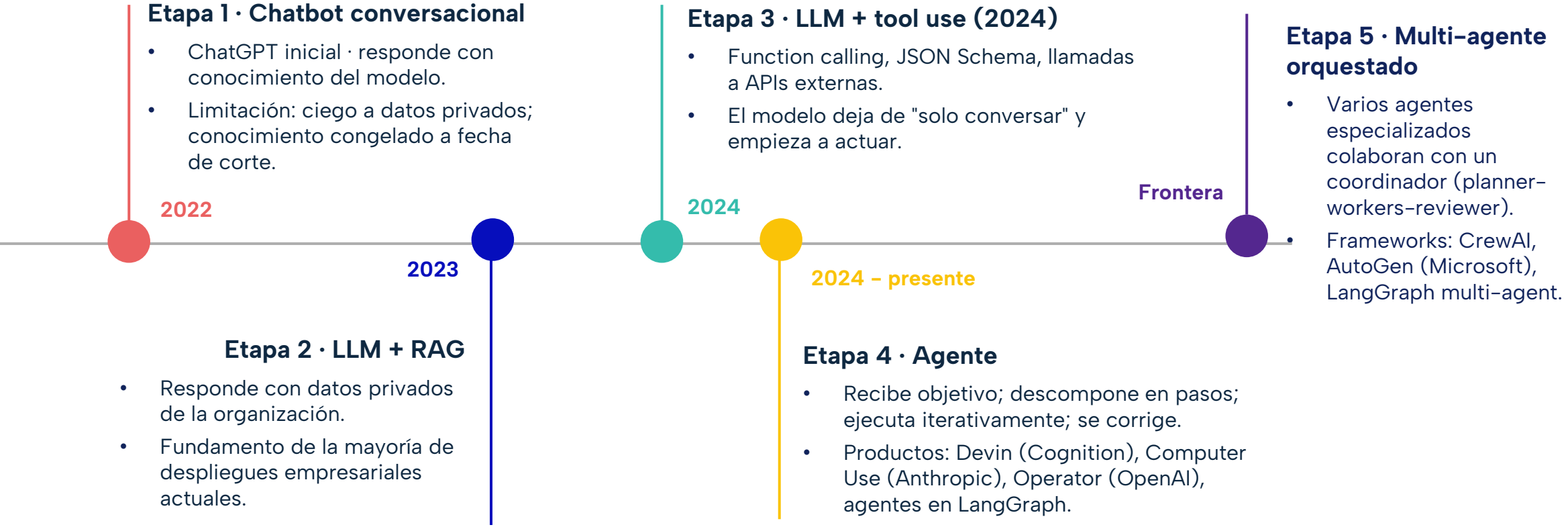
Nivel 4 · Agentes (ortogonal a los anteriores)

- Cuándo: la tarea requiere acciones (no solo respuestas) y descomposición autónoma.
- Coste: orquestación + observabilidad + costes de iteración. Tiempo: semanas-meses.
- Combinable con cualquier nivel anterior.

Referencias · OpenAI Cookbook · cookbook.openai.com · Anthropic Engineering Blog · anthropic.com/engineering

Del chatbot al agente · cinco etapas evolutivas

Cada etapa amplía capacidad pero exige más infraestructura, observabilidad y guardrails.



Etapa 1 · Chatbot conversacional

- ChatGPT inicial · responde con conocimiento del modelo.
- Limitación: ciego a datos privados; conocimiento congelado a fecha de corte.

Etapa 2 · LLM + RAG

- Responde con datos privados de la organización.
- Fundamento de la mayoría de despliegues empresariales actuales.

Etapa 3 · LLM + tool use (2024)

- Function calling, JSON Schema, llamadas a APIs externas.
- El modelo deja de "solo conversar" y empieza a actuar.

Etapa 4 · Agente

- Recibe objetivo; descompone en pasos; ejecuta iterativamente; se corrige.
- Productos: Devin (Cognition), Computer Use (Anthropic), Operator (OpenAI), agentes en LangGraph.

Etapa 5 · Multi-agente orquestado

- Varios agentes especializados colaboran con un coordinador (planner-workers-reviewer).
- Frameworks: CrewAI, AutoGen (Microsoft), LangGraph multi-agent.

Referencias · Yao et al. (2023) "ReAct" — paradigma que sustenta agentes — arxiv.org/abs/2210.03629 · Anthropic (2024) "Building effective agents" — anthropic.com/research · AutoGen · microsoft.github.io/autogen

Anatomía de un agente moderno

LLM + memoria + herramientas + bucle de razonamiento + guardrails.

Componentes

- Cerebro · LLM (frontier o fine-tuneado) que decide qué hacer.
- Memoria · corto plazo (contexto), largo plazo (RAG), estructurada (estado del agente).
- Herramientas · APIs propias, código, búsqueda web, file system, otros agentes.
- Bucle de razonamiento · ReAct loop (Reason → Act → Observe → repeat).
- Guardrails · presupuesto de tokens, límite de iteraciones, listas blancas/negras de acciones.

Diseño del bucle

1. Recibe objetivo y estado inicial.
2. Razona: ¿qué herramienta usar? ¿con qué argumentos?
3. Ejecuta tool call.
4. Observa resultado.
5. Itera hasta cumplir objetivo o alcanzar límite.

Anti-patrones a evitar

- Bucles infinitos · agente itera sin progreso (límite de iteraciones obligatorio).
- Costes desbocados · sin límite de tokens, una iteración mal puede multiplicar factura.
- Propagación de errores · un fallo en planificación rompe toda la cadena
- Confianza ciega entre agentes · prompt injection puede colarse de un agente a otro.

Referencias · Anthropic (2024) "Building effective agents" — patrones reales, no hype · OpenAI Swarm · github.com/openai/swarm — referencia minimalista

Inteligencia Artificial · estado del arte y disciplinas profesionales

Agentes IA en producción · casos verificables

Estado real (no marketing). La mayoría aún en piloto; algunos productivizados.

IDE y desarrollo software

- GitHub Copilot Workspace · agente que navega repo, propone cambios, abre PR.
- Cursor · IDE construido alrededor de agentes; rondas de funding 2024–2025 muy altas.
- Devin (Cognition) · agente especializado en software engineering.
- Claude Code (Anthropic) · agente CLI de Anthropic.

Atención al cliente

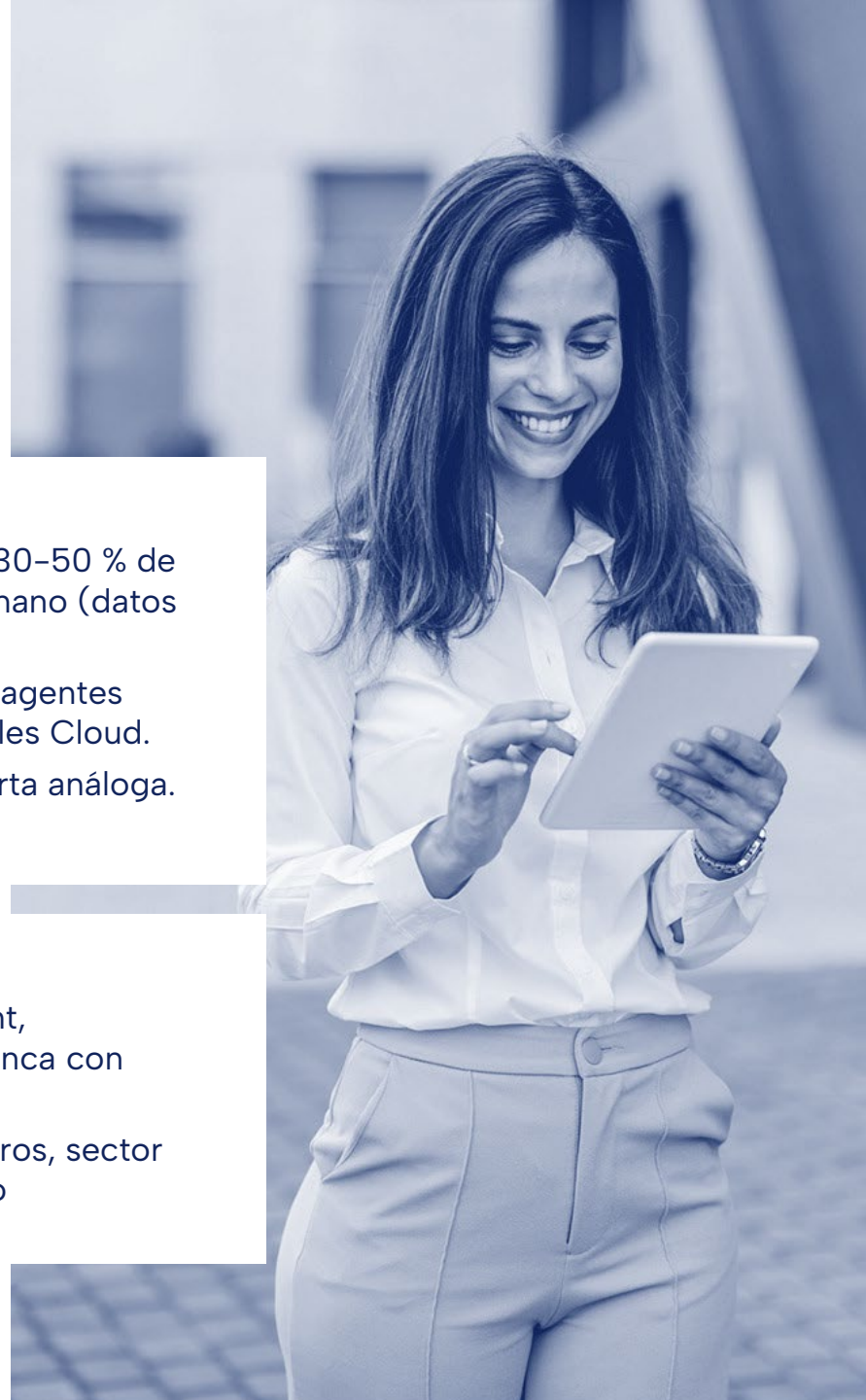
- Intercom Fin · resuelve 30–50 % de tickets sin escalado humano (datos publicados).
- Salesforce Agentforce · agentes para Service Cloud y Sales Cloud.
- Zendesk AI Agents · oferta análoga.

Investigación y análisis

- Perplexity Pro Search · investigación con citas verificables.
- OpenAI Deep Research · investigación profunda autónoma con informe final.
- Anthropic Research mode · alternativa equivalente.

Backoffice y procesos

- Agentes de procurement, expedientes, KYC en banca con human-in-the-loop.
- Adoption en retail, seguros, sector público con casos piloto crecientes.



Referencias · GitHub Copilot Workspace · github.com/features/copilot/copilot-workspace · Intercom Fin metrics · intercom.com/blog/fin · Stanford AI Index 2024 · capítulo de adopción industrial

MLOps vs LLMOps · disciplinas distintas

LLMs introducen retos operativos nuevos que MLOps tradicional no cubre.

Diferencias clave

- Outputs no deterministas · evaluación requiere LLM-as-judge o humanos, no asserts.
- Prompts son código vivo · versionables, revisables, testeables (PromptOps).
- Modelos cambian sin que hagas nada · hyperscaler actualiza, tu output cambia.
- Costes no lineales · agentes pueden multiplicar coste 100× con un bug.
- Seguridad nueva · prompt injection, jailbreaks, fuga de datos vía contexto.

Tres pilares operativos

- Observabilidad · logs por request (tokens, latencia, calidad percibida, coste).
- Evaluación · suites automáticas + LLM-as-judge + evaluación humana periódica.
- Guardrails · filtros entrada/salida, policies, content moderation, PII detection.

Stack representativo

- Observabilidad: LangSmith, Helicone, Langfuse, Datadog LLM Observability, Arize Phoenix.
- Evaluación: Ragas (RAG), TruLens, OpenAI Evals, custom test suites.
- Guardrails: NeMo Guardrails (NVIDIA), Guardrails AI, Lakera Guard, AWS Bedrock Guardrails.

Referencias · AI Engineering · Chip Huyen (2024) — book.aiengineerbook.com · Designing Machine Learning Systems · Chip Huyen (2022)

Riesgos · sesgo, alucinación, privacidad, IP

Casos públicos verificables y mitigaciones conocidas.

Sesgo · casos documentados

- Amazon CV screening (2018) · sistema retirado por penalizar mujeres.
- COMPAS (sentencias, USA) · ProPublica (2016) documentó sesgo racial en predicciones de reincidencia.
- Mitigación: tests de fairness desagregados (AIF360, Fairlearn), datos de entrenamiento balanceados, auditorías independientes.

Privacidad · casos publicados

- Samsung (2023) · prohibición temporal de ChatGPT tras pegado de código confidencial.
- Italia (Garante, 2023) · suspensión temporal de ChatGPT por RGPD.
- Mitigación: Azure OpenAI con cláusula no-reentrenamiento, anonimización previa, DLP.

Alucinaciones · casos públicos

- Mata v. Avianca (2023) · bufete sancionado por presentar sentencias inventadas por ChatGPT.
- Stack Overflow ban inicial (2022) · respuestas plausibles pero incorrectas.
- Mitigación: RAG con citas, LLM-as-judge, supervisión humana en decisiones críticas.

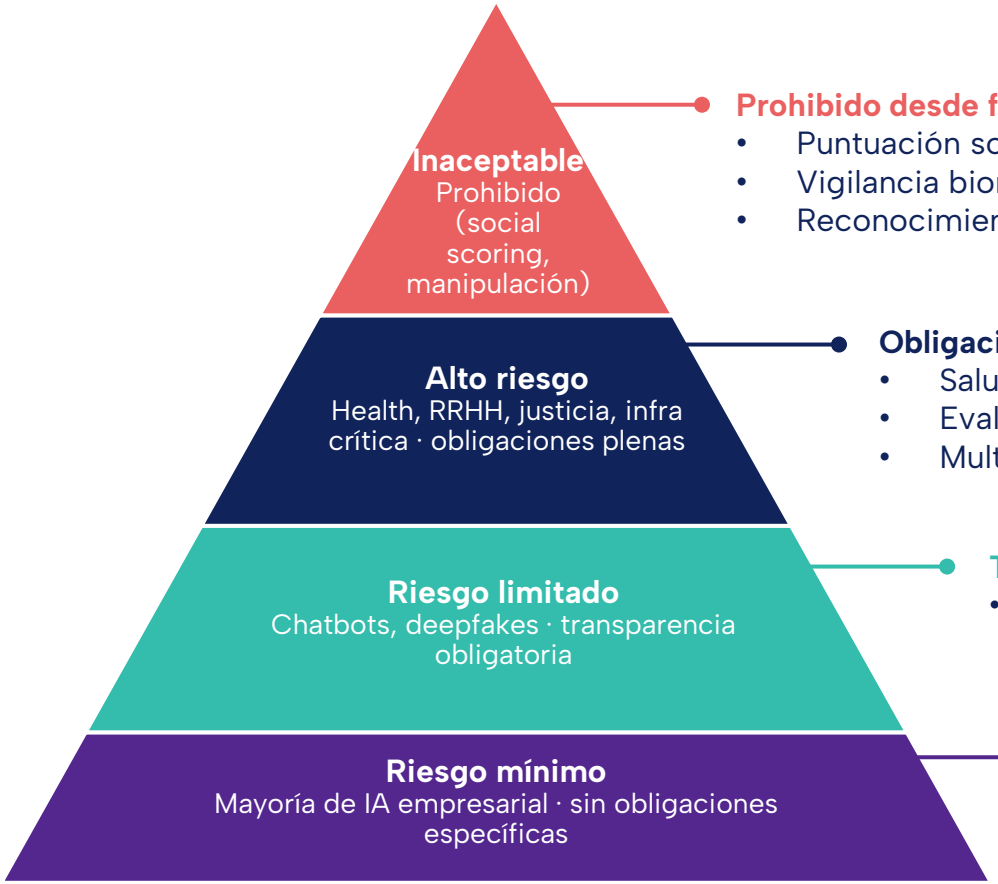
Propiedad intelectual · litigios abiertos

- NYT vs OpenAI (diciembre 2023) · primera demanda de prensa importante.
- Getty Images vs Stability AI (2023) · imágenes con copyright en entrenamiento.
- Suno y Udio demandados por RIAA (2024) · música generada con corpus posiblemente infringente.
- Mitigación: contratos con cláusula de indemnización IP (Microsoft, Google, OpenAI ofrecen).

Referencias · Mata v. Avianca · case 1:22-cv-01461 SDNY · ProPublica (2016) "Machine Bias" — propublica.org/article/machine-bias-risk-assessments · AI Incident Database · incidentdatabase.ai

AI Act · cuatro niveles de riesgo · obligaciones

Reglamento (UE) 2024/1689 · aplicable escalonadamente hasta agosto 2027.



Prohibido desde feb 2025

- Puntuación social, manipulación subliminal.
- Vigilancia biométrica masiva en espacios públicos.
- Reconocimiento de emociones en trabajo / educación.

Obligaciones plenas (~80% del trabajo)

- Salud, justicia, RRHH, educación, infraestructura crítica.
- Evaluación conformidad, supervisión humana, ciberseguridad.
- Multas hasta 15 M€ o 3% facturación global.

Transparencia

- Chatbots, deepfakes · marcado obligatorio.

Sin obligaciones específicas

- Antispam, recomendadores, videojuegos.

Referencias · AI Act texto consolidado · artificialintelligenceact.eu · Reglamento (UE) 2024/1689 · eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689 · ENISA AI Threat Landscape · enisa.europa.eu

AI Act · cronograma y plan de cumplimiento operativo

Cinco pasos para cualquier organización que use IA.

Cronograma escalonado

- Febrero 2025 · prácticas prohibidas vigentes; alfabetización en IA obligatoria para personal.
- Agosto 2025 · obligaciones para modelos GPAI (proveedores).
- Agosto 2026 · sistemas de alto riesgo NUEVOS deben cumplir plenamente.
- Agosto 2027 · sistemas de alto riesgo PREEXISTENTES en mercado deben cumplir plenamente.

Plan en 5 pasos

1. Inventario · ¿qué sistemas IA hay, dónde, quién los usa, para qué?
2. Clasificación · ubicar cada sistema en la pirámide de riesgo.
3. Análisis de huecos · qué falta para cumplir según nivel.
4. Plan con plazos · quién hace qué, cuándo, con qué presupuesto.
5. Formación mínima · personal que interactúa con IA debe estar formado (es obligación legal).

Preguntas para directivos

- ¿Hay un AI Officer o responsable claro en la organización?
- ¿Está documentado qué sistemas IA hay y bajo qué nivel?
- ¿Hay procesos de evaluación de conformidad para nuevos sistemas?
- ¿Las decisiones de alto impacto pasan por supervisión humana significativa?

Referencias · ENISA AI guides · enisa.europa.eu · Spain AESIA (Agencia Española de Supervisión de la IA) · aesia.gob.es · EU AI Office · digital-strategy.ec.europa.eu

Inteligencia Artificial · estado del arte y disciplinas profesionales

IA aplicada por sector · estado del despliegue real

Casos verificables, no demos. Distinción entre piloto y producción a escala.

Salud

- Diagnóstico por imagen · IDx-DR (FDA, retinopatía), Aidoc (PE en TC), Annalise.ai.
- Documentación clínica · Ambient AI (Nuance DAX, Abridge); ahorro reportado ~30 % tiempo.
- Drug discovery · AlphaFold 3 (Abramson et al. Nature 2024), Insilico Medicine en ensayos clínicos.

Industria 4.0

- Mantenimiento predictivo · acoustic + visión + sensórica IoT con modelos foundation.
- Control de calidad por visión · Cognex, Zebra Aurora con vision foundation models.
- Cobots con learning · Universal Robots, ABB con instrucciones en lenguaje natural.

Banca y servicios financieros

- Detección de fraude · ML clásico + deep learning combinados; pérdidas reducidas 30–50 %.
- Asistentes virtuales · Erica de Bank of America, Aida de SEB; millones de usuarios activos.
- KYC/AML · automatización con LLMs + tool calls a registros oficiales.

Desarrollo software (sector más transformado)

- GitHub Copilot · 1.8M+ developers pagantes; +20–40 % productividad medida.
- Cursor · IDE construido sobre agentes; valoración multi-billón en 2025.
- Devin, Claude Code, Codex · agentes especializados en SWE.

Referencias · AlphaFold 3 · Abramson et al. (2024) Nature 630, 493–500 · Nuance DAX (Microsoft) · datos de adopción en hospitales US y Europa · GitHub Octoverse 2024 · github.blog/news-insights/octoverse

Inteligencia Artificial · estado del arte y disciplinas profesionales

Convergencia · IA + otras tecnologías

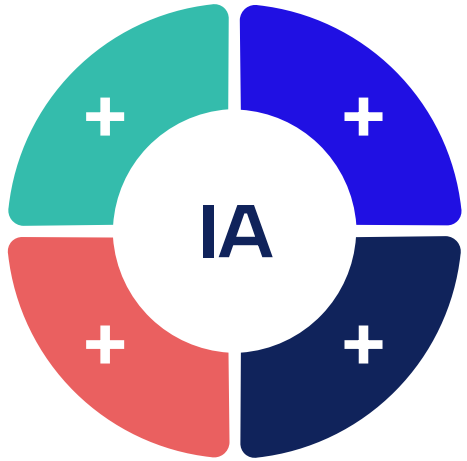
Los puntos de convergencia son donde se concentra el valor económico nuevo.

IA + Cloud + Datos

- La pila de la última década. Lakehouses + LLMs + RAG = patrón empresarial dominante.
- Snowflake Cortex, Databricks Foundation Models, AWS Bedrock, Azure AI Foundry.

IA + Biotecnología

- AlphaFold 3 (Abramson et al. 2024), AlphaProteo · diseño de proteínas a medida.
- Insilico Medicine · primer fármaco diseñado con IA en ensayo clínico fase 2.
- Recursion, Deep Genomics, BenevolentAI · pipelines IA-first.



IA + Robótica

- Foundation models aplicados a control: RT-1, RT-2, RT-X (Google DeepMind + 21 instituciones).
- Tesla Optimus, Figure 02, 1X NEO, Apptronik Apollo · robots humanoides comerciales emergentes.
- Open X-Embodiment dataset · ~1M episodios robot publicados.

IA + Hardware especializado

- NVIDIA Blackwell, Cerebras WSE-3, Google TPU v6, Meta MTIA, AWS Trainium.
- Edge AI · Apple Neural Engine, Google Edge TPU, Qualcomm AI; modelos pequeños eficientes.

Referencias · Open X-Embodiment · robotics-transformer-x.github.io · AlphaFold 3 · Abramson et al. (2024) Nature · Stanford AI Index 2024 · capítulo de hardware

Inteligencia Artificial · estado del arte y disciplinas profesionales

Recursos para profundizar · curated

Para mantenerse en la frontera. Selección minimalista, frecuencia mensual.

Newsletters de calidad

- Latent Space · latent.space — engineering perspective, signal alto
- Import AI · Jack Clark (Anthropic policy lead) — política y técnica
- AI Snake Oil · Narayanan + Kapoor (Princeton) — análisis crítico
- Ahead of AI · Sebastian Raschka — técnica con profundidad

Investigación primaria

- arXiv cs.AI / cs.LG · arxiv.org
- Papers With Code · paperswithcode.com — estado del arte por benchmark
- alphaXiv · alphaxiv.org — discusión sobre papers de arXiv
- AK on X (Hugging Face papers daily)

Reportes y benchmarks

- Stanford AI Index (anual) · aiindex.stanford.edu
- Hugging Face Open LLM Leaderboard · huggingface.co/spaces/HuggingFaceH4/open_llm_leaderboard
- Chatbot Arena (LMSYS) · chatarena.com
- Artificial Analysis · artificialanalysis.ai

Libros recomendados

- "AI Engineering" · Chip Huyen (2024) — el manual práctico más reciente
- "Designing Machine Learning Systems" · Chip Huyen (2022)
- "Hands-on Large Language Models" · Alammar, Grootendorst (2024)

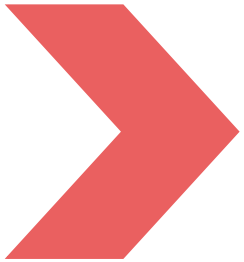
Inteligencia Artificial · estado del arte y disciplinas profesionales

Cierre del Bloque 2 · transición a Blockchain

Para mantenerse en la frontera. Selección minimalista, frecuencia mensual.

Qué nos llevamos

- Marco técnico: ML, Deep Learning, Transformers, scaling laws.
- Patrones empresariales: prompt → RAG → fine-tune → agentes.
- Disciplinas operativas: LLMOps, observabilidad, evaluación, guardrails.
- Marco regulatorio: AI Act, niveles de riesgo, plan de cumplimiento.
- Casos verificables por sector y referencias para profundizar.



Próximo bloque

- Blockchain y Web3 · 1 hora · una tendencia que cruzó el chasm en aplicaciones empresariales.
- Pausa recomendada: 10–15 minutos antes de continuar.

03

Blockchain · más allá de la especulación

Criptografía aplicada · activos tokenizados · infraestructura programable

Blockchain · más allá de la especulación

Qué es realmente una blockchain

Una definición precisa, sin marketing.

Definición

- Base de datos distribuida, replicada en muchos nodos, donde el orden y validez de las escrituras lo determina un protocolo de consenso, no un administrador.
- Cada bloque referencia criptográficamente al anterior — modificar un bloque pasado exige rehacer toda la cadena de hashes.

Propiedades emergentes (no inherentes)

1. Inmutabilidad práctica — cuesta más reescribir que el valor protegido.
2. Resistencia a la censura — depende del grado de descentralización real.
3. Auditabilidad pública — todo el histórico es verificable por cualquiera.
4. Liquidación atómica 24/7 — sin intermediarios de compensación.

Lo que NO es

- No es una base de datos rápida (es entre 100 y 100.000× más lenta que Postgres).
- No es "gratis" (cada escritura paga gas o consume cómputo del consenso).
- No es anónima por defecto — la mayoría de cadenas son seudónimas y trazables.

Referencias · Nakamoto (2008) bitcoin.org/bitcoin.pdf · Antonopoulos · "Mastering Bitcoin" 3ª ed.

Blockchain · más allá de la especulación

De Nakamoto a la era de la tokenización

Diecisiete años de iteración.

Era 1 · Bitcoin

- Whitepaper de Nakamoto resuelve el problema de doble gasto sin autoridad central.
- Proof of Work como mecanismo de consenso · primer ejemplo de oro digital.
- Lecciones: una cadena con un solo activo nativo y reglas fijas.

2008–2014 · 2015–2020 · 2021–2024 · Era actual

Era 2 · Programabilidad y Ethereum

- Ethereum introduce smart contracts Turing-completos — la blockchain como ordenador mundial.
- ICOs (2017) — burbuja de financiación · DeFi summer (2020) — primitivas financieras nativas.

Era 3 · Escalado y consolidación (2021–2024)

- Merge de Ethereum (sept 2022) — paso a Proof of Stake, –99,9% energía.
- Auge de capas 2 (rollups) · MiCA en UE · ETFs spot de BTC y ETH (2024).

Activos reales tokenizados

- Treasuries tokenizados (BlackRock BUIDL, Ondo OUSG) superan 5.000M USD.
- Stablecoins liquidan billones · infraestructura financiera real, no especulativa.

Referencias · Buterin (2014) Ethereum whitepaper · rwa.xyz · estado de la tokenización · Coin Metrics State of the Network / This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-SA

Anatomía técnica · qué hay debajo del capó

Cuatro piezas · hashing y Merkle ilustrados a la derecha.

01 Hashing criptográfico

- SHA-256 (Bitcoin), Keccak-256 (Ethereum).
- Cada bloque incluye el hash del anterior.
- Cualquier cambio en el input cambia el output completo.

02 Árbol de Merkle

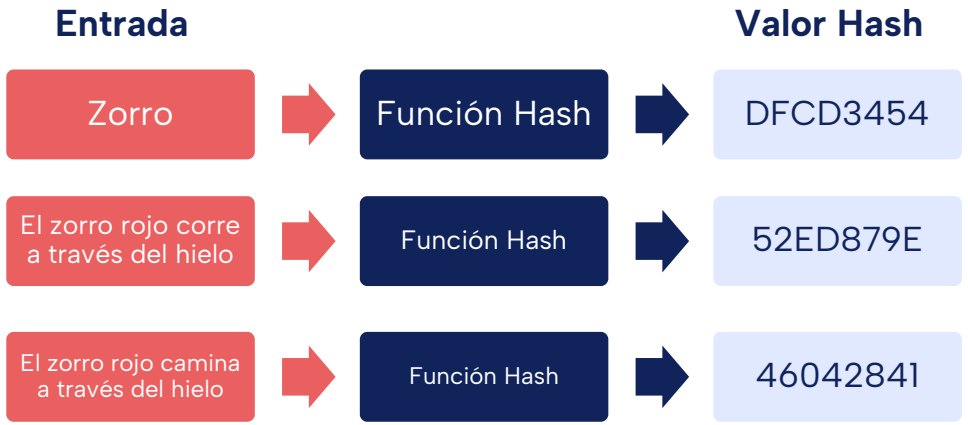
- Agrega N transacciones en un solo hash raíz.
- Light clients verifican inclusión con log(N) hashes.
- Permite SPV (Simplified Payment Verification) en móvil.

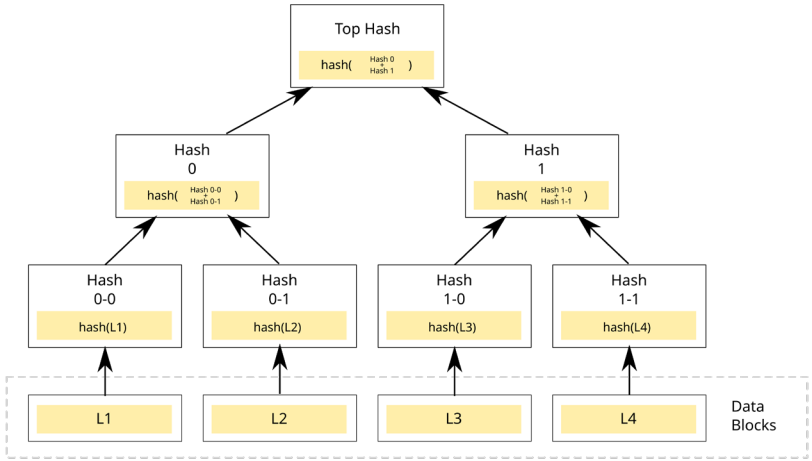
03 Firmas digitales

- ECDSA, EdDSA, BLS (agregación clave para PoS).
- Clave privada = posesión del activo.

04 Consenso

- Tolerancia bizantina · 1/3 (PoS) o 1/2 (PoW).
- Lamport (1982) demostró el límite teórico.





Referencias · Lamport et al. (1982) "Byzantine Generals Problem" · Merkle (1988) "A Digital Signature Based on a Conventional Encryption Function" / Por Fercufer – Trabajo propio, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17743102. / By Azaghal – Own work, CC0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18157888

Blockchain · más allá de la especulación

Proof of Work vs Proof of Stake · tradeoffs reales

Una definición precisa, sin marketing.

Proof of Work (Bitcoin)

- Consenso por gasto físico de energía.
- Seguridad: atacante necesita >51% hashrate (~150 GW).
- Coste energético: ~150 TWh/año.
- Resistencia máxima a censura.
- Sin slashing — pierde sólo electricidad.
- Ideal para activos de reserva.

Proof of Stake (Ethereum, Solana, Cosmos)

- Consenso por colateral económico bloqueado.
- Seguridad: atacante necesita >33% stake (~120B USD).
- Coste energético: 99,9% menos que PoW.
- Validators identificables (más censurable).
- Slashing destruye capital del atacante.
- Permite finalidad rápida y sharding.

Referencias · Cambridge Centre for Alternative Finance · CBECI · Buterin et al. (2020) "Combining GHOST and Casper"

Blockchain · más allá de la especulación

Públicas, permisionadas, híbridas · cuándo cada una

Decisión arquitectónica antes de cualquier piloto.

Pública sin permiso (Bitcoin, Ethereum, Solana)

- Cualquiera puede leer, escribir (pagando), validar y construir aplicaciones.
- Máxima resistencia a censura · máxima auditabilidad · máxima descentralización.
- Coste por escritura · privacidad limitada · gobernanza compleja.
- Caso de uso: dinero programable, activos tokenizados con liquidez global, identidad portable.

Permisionada (Hyperledger Fabric, R3 Corda, Quorum)

- Acceso restringido por consorcio · validators conocidos y vetted.
- Throughput alto · privacidad por canales · sin token nativo necesario.
- Caso de uso: trade finance entre bancos, supply chain entre socios, registros B2B.

Híbrida (rollups con secuenciador centralizado, sidechains)

- Ejecución privada o controlada, finalidad pública en una L1 abierta.
- Combina performance permisionada con auditabilidad pública.
- Tendencia dominante en empresa: Polygon CDK, Arbitrum Orbit, Optimism Superchain.

Referencias · Hyperledger Foundation · hyperledger.org · R3 Corda · r3.com

Blockchain · más allá de la especulación

Smart contracts · código como infraestructura

Lo que los hace útiles · y lo que los rompe.

Qué son

- Programas que se ejecutan determinísticamente en cada nodo de la red.
- Inmutables tras deployment (salvo proxies upgradeables) · transparentes (bytecode público).
- Componibles — un contrato puede llamar a otro · DeFi nace de esta primitiva.

Lenguajes y entornos

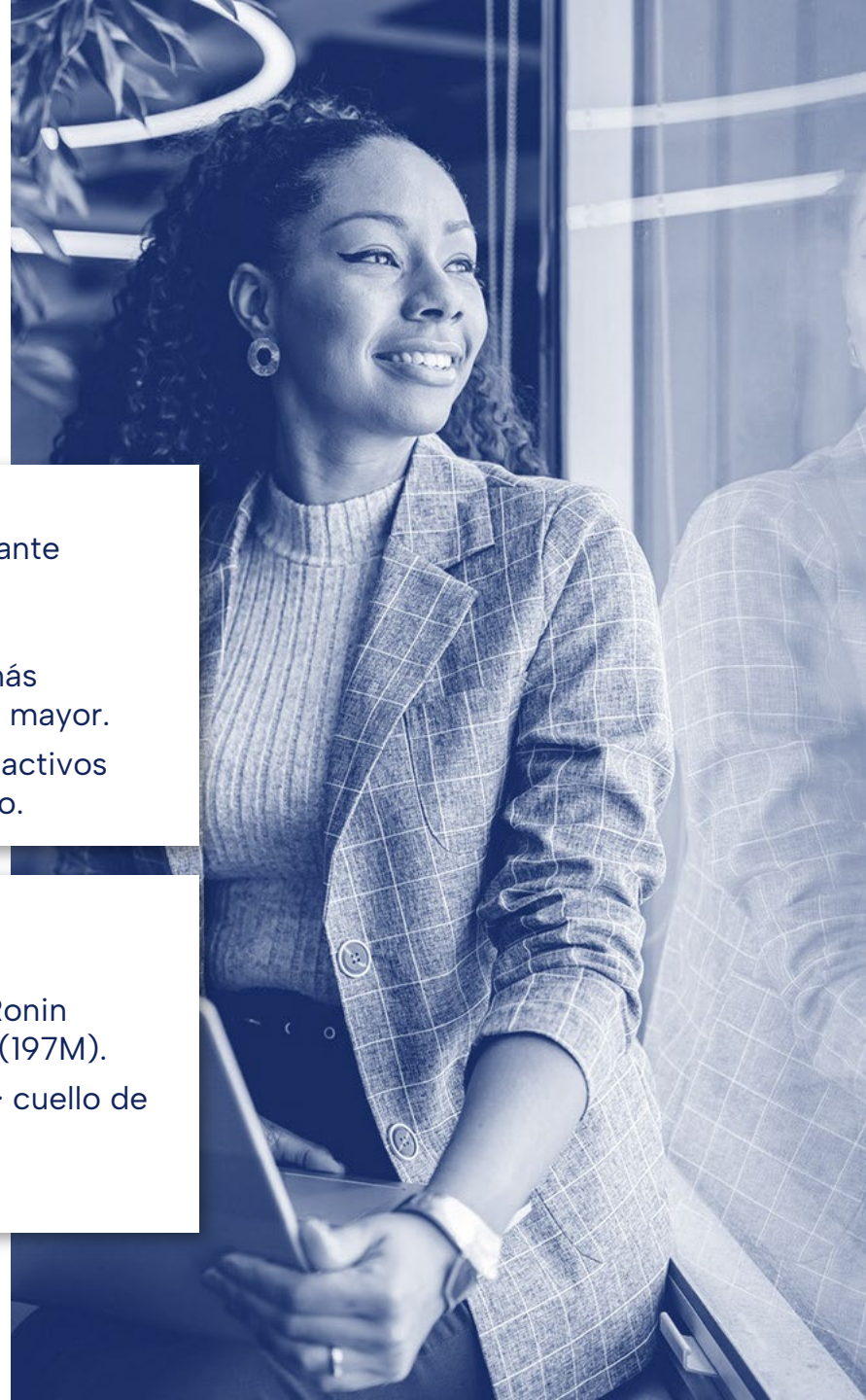
- Solidity / EVM · ecosistema dominante (Ethereum + 20+ cadenas EVM-compatibles).
- Rust / SVM (Solana, Sui, Aptos) · más performante, curva de aprendizaje mayor.
- Move (Aptos, Sui) · diseñado para activos digitales seguros desde el principio.

Tooling moderno

- Foundry (testing rápido en Solidity) · Hardhat · Anchor (Solana).
- Tenderly (debugging de tx) · OpenZeppelin Defender (operaciones).
- Halmos, Certora (verificación formal) · Slither (static analysis).

Lo que falla

- Bugs lógicos cuestan millones — Ronin (625M), Wormhole (320M), Euler (197M).
- Auditoría sigue siendo bottleneck · cuello de botella humano.



Referencias · Buterin (2014) Ethereum whitepaper · rekt.news · post-mortems de hacks

Blockchain · más allá de la especulación

Capa 2 · cómo se escala una blockchain pública

Optimistic rollups vs ZK rollups · el debate central de 2025.

Por qué L2

- Ethereum L1 procesa ~15 tx/s · imposible para uso global.
- L2 ejecuta off-chain pero hereda seguridad de L1 publicando datos y proofs.
- Tras EIP-4844 (blobs, marzo 2024), coste por tx en L2 cae 10-100×.

Optimistic rollups (Arbitrum, Optimism, Base)

- Asumen optimísticamente que las tx son válidas · permiten 7 días para impugnar (fraud proof).
- Latencia de retiro alta · throughput muy alto · EVM-equivalentes (sin fricción para devs).
- TVL combinado: >40B USD a inicios de 2025.

ZK rollups (zkSync, Starknet, Polygon zkEVM, Linea)

- Cada lote de tx se acompaña de una prueba criptográfica de validez.
- Finalidad inmediata · privacidad nativa posible · más complejos técnicamente.
- Coste de prover en bajada continua — antes era prohibitivo, ahora competitivo.

Hacia dónde va

- App-chains: cada app grande tendrá su propio rollup · Coinbase Base, Sony Soneium, Worldcoin World Chain.
- Interoperabilidad entre L2s aún no resuelta · bridges siguen siendo el punto débil.

Referencias · l2beat.com · estado de las L2 · vitalik.eth.limo · series sobre rollups

Blockchain · más allá de la especulación

Stablecoins, CBDCs y MiCA · el dinero programable

El segmento más importante de blockchain hoy.

Stablecoins · escala real

- Capitalización total: ~190B USD a inicios de 2025 (USDT 140B, USDC 40B).
- Volumen anual de liquidación: >10 billones USD — supera a Visa+Mastercard combinadas.
- Tipos: respaldadas por fiat (USDT, USDC), por cripto (DAI), algorítmicas (mayoría colapsadas tras Terra).

Casos de uso reales (no especulativos)

- Remesas: Filipinas, Argentina, Nigeria — coste 1-3% vs 6-9% Western Union.
- Liquidación B2B internacional · settlement instantáneo 24/7.
- Reserva de valor en economías con inflación alta (USDT en Argentina, Venezuela, Turquía).

CBDCs · monedas digitales de banco central

- Eurozona: digital euro en fase preparatoria (BCE, decisión 2025-2026).
- China e-CNY: piloto desde 2020, no usa blockchain pública (centralizado).
- 98% de bancos centrales investigan CBDC · 11 lanzados, 39 en piloto.

MiCA · marco europeo

- Markets in Crypto-Assets · vigente desde 30 dic 2024.
- Reservas 1:1 obligatorias · auditorías mensuales · whitepaper aprobado.
- Limita stablecoins no-EUR significativas a 1M tx/día — fricción real para USDT/USDC.

Referencias · l2beat.com · estado de las L2 · vitalik.eth.limo · series sobre rollups

Blockchain · más allá de la especulación

Tokenización de activos reales · la nueva ola institucional

De la curiosidad a la asignación estratégica.

Qué se está tokenizando · lo serio

- Treasuries USA: BlackRock BUIDL (>500M), Ondo OUSG, Franklin Templeton FOBXX.
- Private credit: Centrifuge, Maple — yield 8-12% para inversores cripto.
- Real estate: Lofty (residential), RealT, RedSwan (commercial).
- Commodities tokenizados: oro (PAXG, XAUT), uranium (Madison).

Por qué ahora

- Tipos altos hacen atractivo el yield de bonos del Tesoro on-chain (vs 0% en stablecoin).
- Custodios institucionales (BNY Mellon, Anchorage) abren la puerta a balance corporativo.
- Frameworks regulatorios maduran: MiCA en EU, ETF aprobados en USA.

Promesa real

- Liquidación instantánea T+0 vs T+2 tradicional · capital working más eficiente.
- Acceso 24/7 · fraccionalización · transparencia de holdings.
- Componibilidad: usar treasury tokenizado como colateral en DeFi.

Limitaciones honestas

- Mayoría tokeniza el wrapper, no el activo subyacente — dependes del emisor.
- Liquidez secundaria todavía limitada · regulación KYC en cada jurisdicción.
- El "sueño" de tokenizar inmobiliario residencial sigue siendo más promesa que realidad.

Referencias · rwa.xyz · tracker tiempo real · BlackRock + Securitize · BUIDL launch (mar 2024) · BCG-ADDX (2022) "Relevance of on-chain asset tokenization"

Blockchain · más allá de la especulación

DeFi · finanzas sin intermediarios · estado actual

Qué funciona · qué no · qué aprender.

Primitivas que funcionan en producción

- DEX (Uniswap, Curve) — >2 billones USD en volumen acumulado · AMMs reemplazan order books.
- Lending (Aave, Compound) — colateralizado, sin contraparte humana · liquidaciones automáticas.
- Stablecoins descentralizadas (DAI, sDAI) — refugio de exposure a USD.
- Liquid staking (Lido, Rocket Pool) — yield de PoS sin lock-up.

Lo que sigue siendo fricción

- UX terrible para usuarios no-cripto · wallets, gas, signing → muralla.
- Riesgo de smart contract sigue presente · DeFi insurance es subdesarrollada.
- Compliance: cumplir KYC + Travel Rule en pools sin permisos es estructuralmente difícil.

TVL y madurez

- TVL global DeFi: ~100B USD (caído desde el peak de 180B en 2021, pero estabilizado).
- Aave V3 funciona en 12+ cadenas · multichain ya es default.
- Auditorías rigurosas · bug bounties de millones · seguros (Nexus Mutual).

Tendencia: DeFi institucional

- Aave Arc, Compound Treasury — pools KYC con whitelists.
- Maple Finance · undercollateralized lending a market makers regulados.
- Convergencia con TradFi: bonos tokenizados como colateral, no solo cripto-nativo.

Referencias · defillama.com · Werner et al. (2022) "SoK: Decentralized Finance (DeFi)"

Blockchain · más allá de la especulación

Casos en producción · más allá de las finanzas

Cuándo blockchain aporta valor real.

1 Identidad y credenciales (verifiable credentials)

- European Digital Identity Wallet (EUDI) · estándares basados en blockchain pública.
- Diplomas universitarios on-chain · MIT, EPFL, Universidad de Múnich.
- ENS (Ethereum Name Service) · 3M+ nombres registrados como identidad portable.

2 Supply chain con verificación criptográfica

- Origen de medicamentos · MediLedger (Pfizer, Genentech) cumple DSCSA.
- Trazabilidad alimentaria · IBM Food Trust (Walmart, Carrefour, Nestlé).
- Diamantes · Everledger registra >2M piedras.

3 Royalties y propiedad intelectual

- Música: Audius, Sound.xyz · payout directo a artistas · sin sello.
- Coleccionables digitales con royalties enforceables on-chain.

4 Públicos y gobierno

- Estonia · backbone de su digital state usa KSI Blockchain (Guardtime) desde 2012.
- Voto on-chain en pequeña escala · West Virginia (militares en el extranjero, 2018).
- Registros de propiedad: Suecia, Georgia, Honduras (pilotos, no producción nacional).

Referencias · EUDI Wallet · digital-strategy.ec.europa.eu · IBM Food Trust · EBSI · European Blockchain Services Infrastructure

Blockchain · más allá de la especulación

Crítica honesta · cuándo NO usar blockchain

La pregunta que debe hacerse en cada proyecto.

Antipatrones comunes

- "Blockchain interno" sin múltiples partes desconfiadas → es un log con hashes, usad Postgres con WORM.
- Tokenizar todo solo porque suena moderno → coste y complejidad sin valor añadido.
- Pretender que la inmutabilidad resuelve el GIGO (garbage in, garbage out).

Riesgos sistémicos

- Concentración de validators · Lido + Coinbase = >40% stake Ethereum.
- Custodia de claves: pérdida = pérdida del activo, sin recuperación.
- MEV (Maximal Extractable Value): ordenamiento de tx puede ser manipulado.

Limitaciones reales

- Throughput: incluso L2s rápidas son 1000× más caras que SQL para writes simples.
- Privacidad: cadena pública revela patrones que regulación o competencia pueden explotar.
- Latencia: finalidad típica es segundos–minutos, no microsegundos.
- Reversibilidad: no hay "deshacer" — bug = pérdida permanente.

Test de dos preguntas (Wüst–Gervais)

- ¿Hay múltiples writers que no confían entre sí? · ¿No hay un tercero confiable disponible?
- Si ambas son SÍ, blockchain puede aportar · Si alguna es NO, hay opción más simple.

Referencias · Wüst & Gervais (2018) "Do you need a blockchain?" CVCBT · Roubini · The Big Blockchain Lie

Síntesis del bloque

01 Blockchain ya no es promesa: es infraestructura de pagos (stablecoins) y tokenización de activos (treasuries) en uso institucional.

02 La elección entre red pública, permisionada o híbrida es la decisión arquitectónica más importante — y la que más se equivoca.

03 Smart contracts son código en producción con dinero real — exigen rigor de software crítico (auditoría, verificación formal, observabilidad).

04 MiCA y la regulación EU dan certidumbre operativa — el viento regulatorio sopla a favor de los actores serios.

05 La pregunta correcta no es "¿cómo usamos blockchain?" sino "¿en qué procesos hay múltiples partes que necesitan compartir un registro verificable?"

04

Realidad Extendida · RV, RA y dispositivos espaciales

Spatial computing · gemelos digitales · interfaces post-pantalla

RV, RA, MR, XR · cuatro letras y un mismo continuum

Milgram (1994) sigue siendo la mejor brújula taxonómica.

Continuum (Milgram)

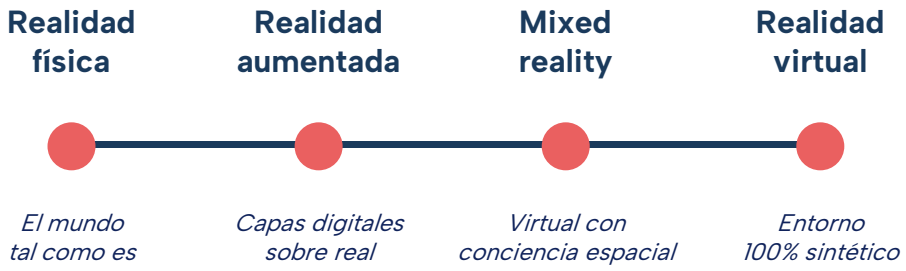
- Real → RA → MR → RV · eje, no categorías discretas.
- Cambia la proporción de píxeles sintéticos vs reales.

Definiciones operativas

- RV · 100% sintético · headset opaco.
- RA · capas sobre real · móvil / gafas transparentes.
- MR · virtual con conciencia de geometría real.
- XR · paraguas · spatial computing es su concreción 2024.

Lo que NO son

- Pantalla 3D ≠ RV (falta tracking de cabeza).
- Filtro Snapchat ≠ RA productiva (falta persistencia).
- Metaverso ≠ RV (es servicio, no tecnología).



Continuum realidad ↔ virtualidad (Milgram & Kishino, 1994)

Referencias · Milgram & Kishino (1994) Taxonomy of mixed reality visual displays · Apple WWDC 2023 · presentación spatial computing

Realidad Extendida · RV, RA y dispositivos espaciales

Hardware 2024–2025 · el momento de la maduración

Por primera vez los dispositivos llegan al umbral usable.

Headsets MR insignia

- Apple Vision Pro (3.500 USD) · 4K por ojo · eye tracking precisísimo · M2+R1 chip.
- Meta Quest 3 (500 USD) · pasthrough color · standalone · masivo (>20M unidades 2024).
- Quest 3S (300 USD) · cuña de mercado mainstream · sept 2024.

Gafas RA óptica transparente

- Meta Orion (prototipo 2024) · gafas reales con waveguide y LLM nativo · no comercial todavía.
- Magic Leap 2 (3.300 USD) · enterprise · medical, defensa.
- Snap Spectacles V5 (kit dev) · campo de visión 46º · gestos manos.

Componentes que han madurado

- Pantallas micro-OLED (Sony) >3000 ppi · pixel density indistinguible del ojo humano.
- Eye tracking sub-grado · permite foveated rendering (renderizar en alta solo donde miras).
- Hand tracking sin guantes · gestos como input principal.
- Pasthrough color de baja latencia (<10ms) · mixed reality realista.

Referencias · Karl Guttag · KGOnTech · análisis óptica AR/VR · IDC · trackers de envíos XR / This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-NC-ND

Realidad Extendida · RV, RA y dispositivos espaciales

Casos productivos · dónde aporta hoy

Más allá del gaming, qué funciona en empresa.

Formación · ROI demostrado

- Cirugía simulada · Osso VR, FundamentalVR · reduce errores 40–60 % en quirófano (Harvard Med 2020).
- Operadores industriales · Boeing, Siemens, BMW reducen tiempo formación 40 %.
- Soft skills · entrevistas, presentaciones, negociación · simulación con IA (PIXL, Bodyswaps).
- Ahorro ROI: PWC (2020) — formación XR es 4× más rápida que aula y 275 % más confiada.

Diseño y revisión 3D

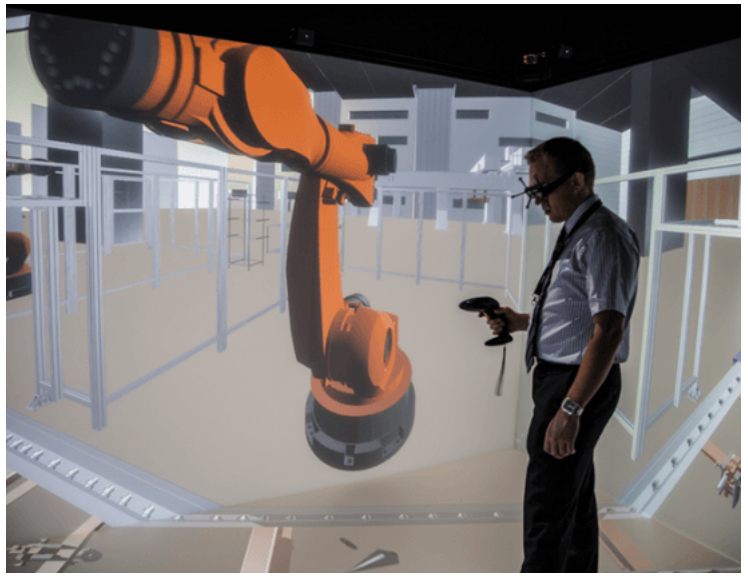
- BMW, Volvo, Boeing revisan prototipos en RV antes de fabricar — ahorros de millones.
- Arquitectura · clientes recorren el edificio antes de obra · reduce cambios costosos.
- Twinmotion, Enscape, Iris VR para arquitectos · workflows establecidos.

Asistencia remota y mantenimiento

- Operario con HoloLens recibe overlays de experto remoto · ABB, GE, Boeing.
- Reducción 30–50% tiempo resolución · aumento first-time-fix rate.

Salud y rehabilitación

- Tratamiento de fobias y PTSD (Bravemind, USC) · evidencia clínica robusta.
- Manejo de dolor crónico · EaseVRx (FDA aprobado 2021) · primera prescripción XR.



Referencias · PwC (2020) "The effectiveness of VR soft skills training" · Mazur et al. (2022) Harvard Med — XR surgical training meta-analysis

Realidad Extendida · RV, RA y dispositivos espaciales

Spatial computing · la apuesta de Apple y la respuesta del mercado

Más que un producto · una nueva categoría de cómputo.

Qué cambia técnicamente

- El SO entiende el espacio 3D del usuario (room mesh, semantic understanding, persistencia).
- Las apps son volúmenes en el espacio, no rectángulos en pantalla.
- Input multimodal: ojos miran (selección), manos pinch (acción), voz (comando).
- Persistencia espacial: un objeto digital queda donde lo dejas físicamente.

Vision Pro · qué hace bien y qué no

- Bien: fidelidad visual, eye/hand tracking, ergonomía corta sesión, ecosistema iOS.
- Mal: peso (650g), batería externa, precio, contenido ecosistema todavía pobre.
- ROI corporativo: emerging para colaboración remota, design review, training.

Respuesta competitiva

- Samsung+Google+Qualcomm · headset Android XR (2025) · respuesta directa al Vision Pro.
- Meta Quest 3 + visionOS-style features · presión de precio masivo.
- Microsoft pivote: Mesh para Teams · MR colaborativo en Microsoft 365.

Tendencia clave

- Del headset al "forma de gafas" (Orion, Spectacles) · 5–10 años para versión consumer.
- LLM nativos en gafas · asistente contextual por voz/visión · Meta/Google/Apple invirtiendo.

Referencias · Apple visionOS Developer Documentation · Google + Samsung + Qualcomm · Android XR plataforma

Realidad Extendida · RV, RA y dispositivos espaciales

Gemelos digitales · el lado serio de XR industrial

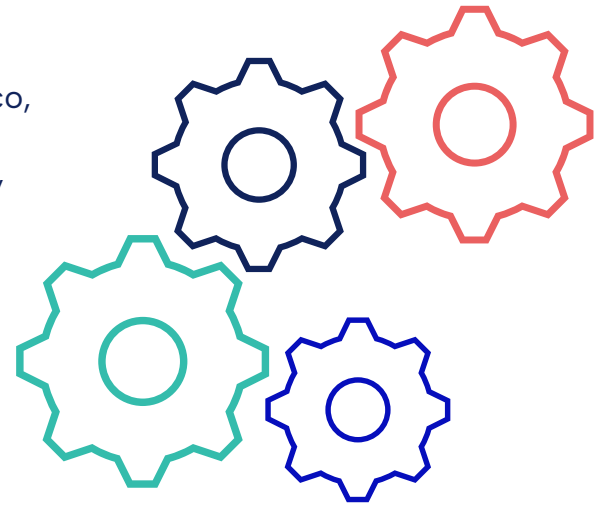
Donde XR converge con IoT, simulación y BIM.

Qué es un digital twin

- Réplica virtual de un activo, proceso o sistema físico, sincronizada en tiempo real con sensores.
- No es CAD ni BIM — incorpora datos vivos de IoT y permite simulación predictiva.
- Niveles: descriptivo (visualización) · diagnóstico · predictivo · prescriptivo (autonomous.

Casos en producción

- Siemens · gemelo de fábricas completas · MindSphere + NX · usado en BMW, Anheuser-Busch.
- GE Vernova · turbinas eólicas · cada turbina tiene su gemelo, ahorro 8-12% mantenimiento.
- Singapur · ciudad entera modelada · Virtual Singapore · planificación urbana.



Plataformas del mercado

- NVIDIA Omniverse · USD universal scene description · física precisa · colaboración multiusuario.
- Microsoft Azure Digital Twins · ontologías DTDL · integración con Azure IoT.
- Unity Industrial Collection · Unreal Twinmotion · enfoque en visualización.

Por qué importa ahora

- Convergencia con IA generativa · gemelos que se diseñan/optimizan automáticamente.
- OpenUSD como estándar abierto · soportado por Apple, Pixar, NVIDIA, Adobe.
- Coste de cómputo cae · simulación de fábrica entera viable en cluster pequeño.

Referencias · NVIDIA Omniverse · developer.nvidia.com/omniverse · Grieves & Vickers (2017) "Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior"

Realidad Extendida · RV, RA y dispositivos espaciales

Métricas técnicas · qué pedirle a un dispositivo XR

Para diferenciar producto serio de demo.

01

Latencia motion-to-photon

- Umbral de mareo (sickness): >20ms induce malestar en mayoría de usuarios.
- Vision Pro y Quest 3 están en 11-13ms · clase enterprise.
- Headsets baratos sin tracking adecuado superan 30-50ms · inutilizable para sesiones largas.

02

Campo de visión y resolución

- FOV humano: ~210º horizontal · headsets 2024: 100-110º (Vision Pro 100º, Quest 3 110º).
- Resolución: 3K-4K por ojo · pixel density >35 ppd (pixels per degree) para no ver "screendoor"
- Apple Vision Pro: 23M píxeles totales · estado del arte.

03

Frame rate y refresco

- Mínimo aceptable: 90 Hz · óptimo: 120 Hz · profesional: 144+ Hz.
- Refresco consistente importa más que pico (jitter genera mareo).
- Foveated rendering permite 90 Hz en hardware modesto · clave económicamente.

04

Tracking y comfort

- 6DoF inside-out (cámaras en headset) ya estándar · sin estaciones externas.
- Eye tracking <2º error · hand tracking <5mm precision.
- Peso óptimo <500g · IPD ajustable · refresh comfort breaks recomendado cada 30 min.

Referencias · IEEE VR · benchmarks de latencia y comfort · Apple Vision Pro Technical Specifications

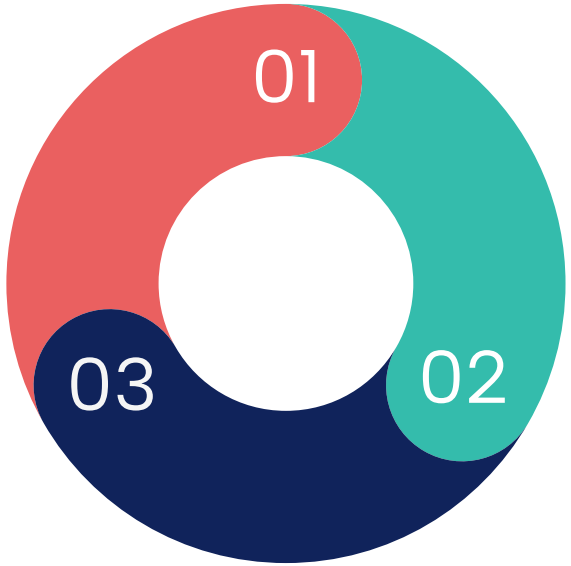
Realidad Extendida · RV, RA y dispositivos espaciales

WebXR y estándares abiertos · contenido portable

No quedarse atrapado en un ecosistema.

WebXR Device API

- Estándar W3C para experiencias XR en navegador · sin instalar apps.
- Soportado en Chrome, Edge, Quest browser, Vision Pro Safari (parcial).
- Frameworks: A-Frame, Three.js + WebXR, Babylon.js, PlayCanvas.



OpenXR · Khronos Group

- API estándar para acceder a runtimes XR · sin acoplar a SDK propietario.
- Soportado por Meta, Microsoft, Valve, ByteDance · Apple aún no (visionOS propio).
- Reduce coste de portar entre headsets de 60% a <20 %.

OpenUSD · contenido 3D portable

- Universal Scene Description · originado en Pixar 2016 · open-source.
- Estándar de facto en industrial (NVIDIA, Apple, Microsoft, Adobe).
- Permite gemelos digitales y assets reusables entre Omniverse, Vision Pro, Unity.

Lecciones para empresa

- Apostar por web/standards reduce dependencia de hardware específico.
- Para ROI a 5+ años, el estándar abierto > rendimiento máximo de plataforma cerrada.

Referencias · W3C WebXR Device API · immersive-web.github.io · Khronos OpenXR · khronos.org/openxr · OpenUSD · openusd.org

Realidad Extendida · RV, RA y dispositivos espaciales

Riesgos · seguridad, salud, privacidad, ética

Lo que un comité de ética debe revisar antes de despliegue masivo.

Salud física y bienestar

- Cybersickness · 20–50% de usuarios afectados en sesiones >30 min · decreciente con buen hardware.
- Fatiga ocular y vergence–accommodation conflict · investigación abierta sobre efectos largo plazo.
- Lesiones por colisión con entorno físico · Quest 3 mitiga con guardian system.

Privacidad masiva (XR genera más datos que cualquier dispositivo)

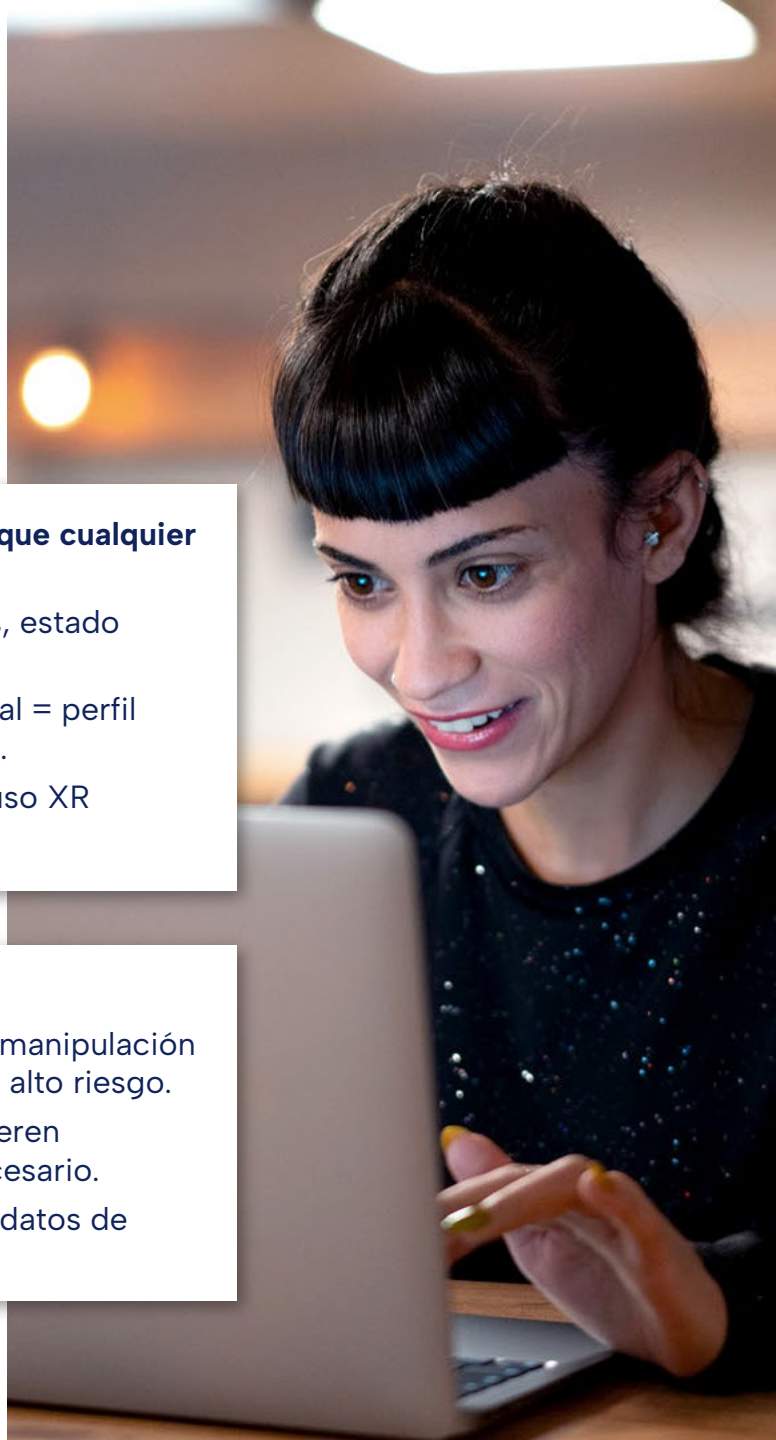
- Eye tracking revela atención, intereses, estado emocional, posibles patologías.
- Hand tracking + voz + posición espacial = perfil biométrico extremadamente detallado.
- Estudio Stanford 2023: 5 minutos de uso XR identifican usuario con 95% precisión.

Seguridad y manipulación

- Inmersión total amplifica persuasión · publicidad en RV mucho más efectiva (Stanford VHIL).
- Deepfakes en avatares · suplantación de identidad social en metaverso.
- Riesgo niños · contenidos no apropiados, addicción, exposición a desconocidos.

Regulación emergente

- EU AI Act categoriza ciertos usos XR (manipulación emocional, biometric inference) como alto riesgo.
- GDPR aplica · datos biométricos requieren consentimiento explícito y mínimo necesario.
- FTC USA · investigación a Meta sobre datos de menores en Quest 2023–2024.



Referencias · Miller et al. (2020) Nature "Personal identifiability of user tracking data" · Stanford VHIL · Virtual Human Interaction Lab · EU AI Act 2024/1689

Realidad Extendida · RV, RA y dispositivos espaciales

Stack profesional XR · capas y elecciones

Mapa para arquitectos que evalúan adopción.

Capa de hardware

- Headsets: Vision Pro, Quest 3/3S, Pico 4 Enterprise, HoloLens 2 (legacy), Magic Leap 2.
- Controladores: hand tracking nativo > controladores físicos · evolución clara.

Capa de runtime / SDK

- OpenXR (estándar) · Meta SDK · visionOS frameworks (RealityKit, ARKit).
- Cross-platform: Unity XR Interaction Toolkit · Unreal OpenXR plugin.

Capa de motor 3D y herramientas

- Unity XR · dominante en formación, salud, simulación.
- Unreal Engine 5 · alta fidelidad gráfica · Twinmotion para arquitectura.
- Web: Three.js + WebXR · A-Frame · Babylon.js.
- Industrial: NVIDIA Omniverse + USD · gemelos digitales.

Capa de servicios

- Backend MR multiusuario: Photon, Normcore, Coherence.
- Streaming XR (CloudXR, NVIDIA): renderizado en cloud, headset thin client.
- Asset libraries: Sketchfab, TurboSquid, Quixel Megascans.

Referencias · Khronos OpenXR Working Group · Unity XR Hub · unity.com/solutions/xr

Realidad Extendida · RV, RA y dispositivos espaciales

Cómo adoptar XR sin gastar 1M€ en una experiencia que falla

Hoja de ruta práctica para 2025–2027.

Fase 1 · Exploración (3–6 meses, <30K€)

- Inventario de procesos candidatos: formación compleja, diseño 3D, asistencia remota, simulación de riesgo.
- Compra 5–10 Quest 3 + suscripción a Demo apps (Osso VR, Bodyswaps, Mesh).
- Sesiones con stakeholders · identificar 1–2 casos con ROI claro.

Fase 2 · Piloto (6–12 meses, 50–200K€)

- Construir 1 caso end-to-end con métricas pre/post · KPIs duros (tiempo, errores, satisfacción).
- Empezar con Unity + OpenXR + Quest 3 · evitar over-engineering inicial.
- Privacy Impact Assessment · políticas de uso · formación a usuarios pilotos.

Fase 3 · Escalado (12–24 meses, 200K–1M€)

- Si fase 2 mostró ROI, expandir · estandarizar arquitectura · MDM para fleet de devices.
- Integración con sistemas corporativos (LMS, MES, CRM, gemelo digital).
- Plan de obsolescencia · headsets se actualizan cada 2–3 años · dispositivos no son CapEx eterno.

Anti-patrones a evitar

- Comprar 500 headsets antes de validar 1 caso de uso.
- Encargar contenido custom a agencia sin métricas de éxito.
- Asumir que personal usará XR sin entrenamiento e incentivos.

Referencias · Gartner (2024) Hype Cycle for Emerging Technologies · PwC Global VR Training Report

Síntesis del bloque

01 XR vive su transición de "juguete tecnológico" a "infraestructura productiva" gracias a hardware finalmente usable y a casos de uso con ROI medido.

02 La distinción entre RV (aislamiento), RA (aumento), MR (fusión) y spatial computing es clave — cada uno tiene casos donde gana y donde no aporta.

03 Apostar por estándares abiertos (OpenXR, OpenUSD, WebXR) protege la inversión a 5–10 años contra fragmentación de plataformas.

04 Los gemelos digitales son donde el dinero real está en industrial · convergencia con IoT, IA, simulación.

05 Privacidad y salud son riesgos serios · ningún despliegue masivo sin Privacy Impact Assessment y políticas claras.

¡Gracias!

GENERACIÓN D
UNIÓN PROFESIONAL
Upro
Financiado por la Unión Europea
NextGenerationEU
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA
SECRETARÍA DE ESTADO DE DIGITALIZACIÓN E INTELIGENCIA ARTIFICIAL
red.es
Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia