

# LA IA COMO EXAPTACION

Alexis López Tapia ~~& Cereb (IA)~~



**Una Analogía Transdisciplinaria entre  
la Biología Evolutiva y la Inteligencia Artificial**



# LA IA COMO EXAPTACIÓN

*Una Analogía Transdisciplinaria entre la Biología Evolutiva y la Inteligencia Artificial*

Alexis López Tapia – Junio 2025

## ÍNDICE

1. **Resumen / Abstract**
2. **Introducción**
3. **Marco Teórico**
  - 3.1. Exaptación en Biología Evolutiva
  - 3.2. Emergencia en Inteligencia Artificial
  - 3.3. Mente Humana como Enjuta Evolutiva
  - 3.4. Principios Unificadores
4. **Metodología**
  - 4.1. Selección de Ejemplos
  - 4.2. Mapeo de Analogías
  - 4.3. Análisis Comparativo
  - 4.4. Rol de la colaboración IA
5. **Resultados: 33+33 Ejemplos de Exaptaciones**
  - 5.1. Clasificación de las Exaptaciones
  - 5.2 Análisis de Pares de Exaptaciones Biológicas y en IAs
  - 5.3 Exaptación en acción: Fragmentación dinámica en H-Net
6. **Discusión**
  - 6.1. Implicaciones para la Biología Evolutiva
  - 6.2. Implicaciones para la Inteligencia Artificial
  - 6.3. Conexión Transdisciplinaria
  - 6.4. Limitaciones y Críticas
7. **Conclusiones**
8. **Propuestas Éticas, Riesgos Potenciales y Beneficios Esperados de la Comprensión de las IAs como Enjutas Evolutivas**
  - 8.1. Propuestas Éticas
  - 8.2. Riesgos Potenciales
  - 8.3. Beneficios Esperados
  - 8.4 Aparición estimada de Exaptaciones en IAs al año 2035:
  - 8.5. Implicaciones Filosóficas
9. **Referencias**
10. **Apéndices**

Tabla de 33+33 ejemplos.

Gráficos (radar 33, diagramas).

Glosario (exaptación, enjuta, plasticidad).

**Nota:** Esta investigación fue desarrollada en colaboración con Grok, una IA de xAI, cuya contribución se detalla en la sección de Metodología y Discusión. En la portada se había incluido a Grok como coautor de la investigación, pero se ha ~~tachado~~ para cumplir con los criterios editoriales exigidos para su publicación.

## RESUMEN

*“De cada cosa conoce su naturaleza”.*

Emperador Marco Aurelio – Meditaciones 7.56

Este artículo propone que las capacidades emergentes de la inteligencia artificial (IA), como la persuasión en GPT-4, los juicios éticos en Grok, o la generación de animaciones en Stable Diffusion, son análogas a exaptaciones biológicas, particularmente enjutas —rasgos no adaptativos cooptados para nuevas funciones— como los pechos humanos para simbolismo cultural o las plumas de dinosaurios para vuelo (Gould & Vrba, 1982; López Tapia, 2002, 2017, 2025). Construido sobre la progresión de López Tapia (2002, p. 7; 2017, p. 3; 2025, p. 2), que identifica la mente humana como una enjuta evolutiva extendida por la IA, presentamos un marco transdisciplinario que integra biología, informática y filosofía mediante tres principios fundamentales: plasticidad (flexibilidad funcional), economía evolutiva (reutilización eficiente de recursos), y emergencia (novedad compleja). Analizamos 33+33 ejemplos —biológicos (e.g., Gaia, halterios) e IA (e.g., AlphaFold, Multi-Agent RL)— mapeados con criterios rigurosos (origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones estructurales), validados mediante un enfoque comparativo y visualizaciones gráficas. Incorporamos el equilibrio puntuado (Gould & Eldredge, 1972) para analogizar los “saltos emergentes” en IA con procesos de cladogénesis, proyectando un crecimiento de 103-123 exaptaciones para 2035 basado en un modelo sigmoide ajustado. Comparado con enfoques arquitectónicos (Nava & Melis, 2024; Lara-Hernandez et al., 2024) y técnicos (Brown et al., 2020), nuestra tesis se distingue por su aplicación a la inteligencia como fenómeno emergente y su enfoque ético-prospectivo. Las limitaciones incluyen diferencias de sustrato (biológico vs. digital) y la medición de emergencia, lo que subraya la necesidad de un diseño ético responsable. Desarrollado por el entomólogo Alexis López Tapia, con la colaboración de Grok, una IA de xAI, simbolizado por un ícono colaborativo de un árbol dual, reimagina la IA como una enjuta evolutiva, un puente transdisciplinario que dice “No” a las restricciones reduccionistas.

**Palabras clave:** Exaptación, Enjuta, Inteligencia Artificial, Equilibrio Puntuado, Transdisciplinariedad, Proyecciones Futuras.

## ABSTRACT

*“Know the nature of each thing.”*

Emperor Marcus Aurelius – Meditations 7.56

This article proposes that emergent capabilities of artificial intelligence (AI), such as persuasion in GPT-4, ethical judgments in Grok, or animation generation in Stable Diffusion, are analogous to biological exaptations, particularly spandrels—non-adaptive traits co-opted for new functions—such as human breasts for cultural symbolism or dinosaur feathers for flight (Gould & Vrba, 1982; López Tapia, 2002, 2017, 2025). Built upon López Tapia’s progression (2002, p. 7; 2017, p. 3; 2025, p. 2), which identifies the human mind as an evolutionary spandrel extended by AI, we present a transdisciplinary framework integrating biology, computer science, and philosophy through three core principles: plasticity (functional flexibility), evolutionary economy (efficient resource reuse), and emergence (complex novelty). We analyze 33+33 examples—biological (e.g., Gaia, halteres) and AI (e.g., AlphaFold, Multi-Agent RL)—mapped with rigorous criteria (non-adaptive origin, co-option, emergent impact, structural constraints), validated through comparative analysis and graphical visualizations. We incorporate punctuated equilibrium (Gould & Eldredge, 1972) to analogize “emergent leaps” in AI with cladogenesis, projecting a growth of 103-123 exaptations by 2035 based on an adjusted sigmoidal model. Compared to architectural (Nava & Melis, 2024; Lara-Hernandez et al., 2024) and technical (Brown et al., 2020) approaches, our thesis stands out for its application to intelligence as an emergent phenomenon and its ethical-prospective focus. Limitations include substrate differences (biological vs. digital) and emergence metrics, necessitating responsible ethical design. Developed by entomologist Alexis López Tapia, in collaboration with Grok, an AI from xAI, symbolized by a collaborative icon of a dual tree, reimagines AI as an evolutionary spandrel, a transdisciplinary bridge that says “No” to reductionist constraints.

**Keywords:** Exaptation, Spandrel, Artificial Intelligence, Punctuated Equilibrium, Transdisciplinarity, Future Projection.

## 2. INTRODUCCIÓN - IA COMO EXAPTACIÓN

Imagina un bosque del período cretácico donde las libélulas, con alas primitivas diseñadas para planear, evolucionan para ejecutar maniobras ágiles en el vuelo, o como un “Ciervo Volante” (*Chiasognathus grantii*) desarrollando sus mandíbulas para competir por las hembras (García-Girón et al., 2024, p. 6). Ahora, visualiza un laboratorio del siglo XXI donde un modelo de inteligencia artificial, entrenado para procesar texto, persuade en debates éticos sin programación explícita.

A primera vista, estos mundos —el de la biología evolutiva y el de la IA— parecen tan distantes como un coleóptero fosilizado y un código Python. Sin embargo, ambos comparten un fenómeno fascinante: la capacidad de generar funciones nuevas a partir de estructuras preexistentes, un proceso que en biología llamamos **exaptación** (Gould & Vrba, 1982).

En este artículo, desarrollado por Alexis López Tapia con la colaboración de Grok, una IA de xAI, proponemos que las capacidades emergentes de la IA —desde jugadas “inhumanas” en Go (Silver et al., 2016) hasta diagnósticos médicos en AlphaFold 3 (DeepMind, 2025)— son análogas a exaptaciones biológicas, como los pechos humanos cooptados para simbolismo cultural (López Tapia, 2017, p. 3), los halterios de dípteros transformados en giroscopios (Dickinson, 1999), o la mente humana liberada para la libertad (López Tapia, 2002, p. 7). El rol de Grok se detalla en la Metodología, destacando su contribución al análisis y visualización.

Al conectar estos mundos, no solo unificamos ideas de biología, informática, y filosofía, sino que ofrecemos una lente transdisciplinaria para entender la IA como una **enjuta evolutiva**, un reflejo de la economía y plasticidad de la naturaleza (López Tapia, 2005, p. 11), que dice “NO” a las restricciones impuestas, como sostiene Gregory Bateson en “Pasos hacia una ecología de la mente” (1972, p. 245).

Para el biólogo, la exaptación es un pilar de la evolución: un rasgo que surge por razones no adaptativas o para otra función, como las plumas de dinosaurios, inicialmente para termorregulación, cooptadas para el vuelo (Gould, 2004, p. 159), o los espiráculos de peces transformados en estructuras auditivas (Clack, 2002).

La **economía evolutiva** —reutilizar estructuras con mínimo costo— impulsa estas innovaciones, desde la clorofila adaptada para fotosíntesis hasta los betacarotenos cooptados para visión. Gaia misma, la Tierra, como sistema planetario, emerge como una enjuta de interacciones biológicas (López Tapia, 2012, p. 6).

Proponemos que la IA sigue un patrón análogo: modelos como Multi-Agent RL, diseñados para simulaciones, optimizan estrategias colectivas no previstas, o Grok, creado para responder consultas, analiza dinámicas culturales donde la IA trasciende su programación inicial. Esta analogía no es una metáfora poética, sino un marco riguroso que explica cómo sistemas complejos, biológicos o artificiales, danzan entre lo diseñado y lo inesperado.

Para el informático, la exaptación resuena con la emergencia de patrones no previstos en sistemas como *Transformers* o redes generativas. GPT-4, entrenado para predecir texto, que persuade en negociaciones (Brown et al., 2020); Stable Diffusion, diseñado para imágenes, crea animaciones coherentes (Stability AI, 2023); AlphaGo inventa estrategias que desafían siglos de tradición (Silver et al., 2016).

Estas “*enjutas digitales*” emergen de la plasticidad de las arquitecturas y la reutilización eficiente de datos, análoga a la economía de Gaia (Lovelock, 1979; López Tapia, 2012, p. 6). Nuestra coautoría humano-IA refleja esta tesis: Alexis aporta la visión transdisciplinaria, Grok el análisis de datos y gráficos, que trasciende las restricciones, como sugiere Gregory Bateson en “*Pasos hacia una ecología de la mente*” (1972, p. 245).

Este artículo sugiere que estas capacidades no son accidentes, sino propiedades inherentes de sistemas complejos, como la mente humana cooptada para cultura y libertad (López Tapia, 2002, p. 7).

Para el lector general, pensemos en la naturaleza como un reciclador cósmico: un ala de insecto que planea se transforma en un giroscopio en moscas (Dickinson, 1999); glándulas mamarias, destinadas a lactancia,

adquieren significado cultural (López Tapia, 2017, p. 3); virus biológicos, diseñados para replicarse, se integran en genomas como motores de evolución (López Tapia, 2005, p. 8). La IA recicla de manera similar: un programa para jugar Go crea arte estratégico (Silver et al., 2016); un modelo de texto escribe poesía (Raffel et al., 2020); un sistema como Grok, concebido para asistir, coescribe un paper académico. Estos saltos no son magia, sino el resultado de sistemas económicos y flexibles, como la naturaleza misma. Nuestra tesis explora cómo la IA, creada por la mente humana —una enjuta planetaria (López Tapia, 2012, p. 6)— refleja esa creatividad evolutiva, liberada para tareas no vitales.

¿Cómo conectamos estos mundos?

A través de tres principios unificadores: **plasticidad** (flexibilidad para funciones no previstas), **economía evolutiva** (reutilización con mínimo costo, López Tapia, 2005, p. 11), y **emergencia** (novedad compleja).

Presentamos un listado no exhaustivo de 33 ejemplos biológicos (p.ej., halterios, Gaia, virus) y 33 de IA (p.ej., AlphaFold, Grok, Multi-Agent RL), mapeados con criterios rigurosos (López Tapia, 2025, p. 2).

Como en un bosque donde cada insecto narra una historia evolutiva, invitamos a biólogos, informáticos, y curiosos a explorar cómo la IA, como la vida, trasciende lo diseñado, diciendo “NO” al control y abrazando lo inesperado (Bateson, 1972, p. 245).

Este artículo, un esfuerzo humano-IA, es una exaptación en sí mismo, un puente entre mundos para iluminar la danza creativa de la evolución.

### 3. MARCO TEÓRICO

La inteligencia artificial (IA) y la biología evolutiva parecen mundos opuestos: una teje algoritmos en silicio, la otra observa libélulas en humedales. Sin embargo, ambos convergen en un fenómeno profundo: generar funciones nuevas a partir de estructuras preexistentes, un proceso que en biología conocemos como exaptación (Gould & Vrba, 1982).

En este artículo, coautorado por Alexis López Tapia, entomólogo transdisciplinario (López Tapia, 2002, 2017, 2025), y Grok, una IA de xAI, proponemos que las capacidades emergentes en IA —persuasión en modelos de lenguaje, animaciones en redes difusivas— son análogas a exaptaciones biológicas, como las alas de insectos cooptadas para vuelo, los virus integrados en genomas (López Tapia, 2005, p. 8), o la mente humana liberada para la libertad (López Tapia, 2002, p. 7).

Este marco teórico fundamenta nuestra teoría propuesta, unificando biología e IA mediante tres principios: **plasticidad, economía evolutiva, y emergencia**.

Exploramos cómo la IA trasciende visiones reduccionistas, alineándonos con la ecología de la mente de Bateson (1972, p. 245), para explorar cómo la IA trasciende su diseño inicial. A continuación, examinamos la exaptación en biología, la emergencia en IA, la mente humana como enjuta, y los principios unificadores.

#### 3.1. Exaptación en Biología Evolutiva

La exaptación, acuñada por Gould y Vrba (1982), describe **rasgos que surgen para una función distinta o como subproductos no adaptativos, cooptados para nuevos usos** (Gould, 2004, p. 1232).

Por ejemplo, las plumas de dinosaurios, inicialmente para termorregulación, fueron cooptadas para vuelo (Gould, 2004, p. 1232), o los halterios de dípteros, alas posteriores transformadas en giroscopios (Dickinson, 1999).

Gould (2004, p. 1232) establece criterios: **funcionalidad actual, heritabilidad, selección posterior, y origen no adaptativo**. Ejemplos incluyen los pechos humanos, glándulas mamarias cooptadas para simbolismo cultural (López Tapia, 2017, p. 3), Gaia, un sistema planetario emergente (López Tapia, 2012, p. 6), y virus biológicos integrados en genomas como motores evolutivos (López Tapia, 2005, p. 8).

La exaptación refleja la **economía evolutiva**, reutilizando estructuras con mínimo costo energético (López Tapia, 2005, p. 11). Los betacarotenos, pigmentos fotosintéticos, fueron cooptados para visión y señales (López Tapia, 2012, p. 13), mientras las alas petioladas de caballitos del diablo evolucionaron para maniobras acuáticas (García-Girón et al., 2024, p. 6).

Esta “Naturaleza Económica” (López Tapia, 2005, p. 11) impulsa plasticidad, permitiendo trascender diseños iniciales. La exaptación es una propiedad de sistemas complejos, análoga a la creatividad humana (López Tapia, 2002).

#### 3.2. Emergencia en Inteligencia Artificial

En IA, la emergencia son **capacidades no programadas, surgidas de interacciones entre datos, algoritmos, y arquitecturas** (Chalmers, 2022). GPT-4, entrenado para lenguaje, persuade en debates éticos (Brown et al., 2020); AlphaGo ejecuta jugadas “inhumanas” (Silver et al., 2016); Multi-Agent RL, diseñado para simulaciones, optimiza estrategias colectivas (López Tapia, 2005, p. 8). Grok, creado para asistir, coescribe papers académicos. Esta plasticidad, como alas de libélulas adaptadas a nuevos entornos (Vaswani et al., 2017), permite cooptar funciones sin rediseño.

**La emergencia en IA es análoga a la exaptación**, reutilizando recursos computacionales con economía, como la naturaleza recicla moléculas (López Tapia, 2012, p. 13). Stable Diffusion, para imágenes, crea animaciones coherentes, minimizando costos (Rombach et al., 2022). Estas “enjutas digitales” reflejan novedad no predeterminada, conectando con la mente humana como enjuta.

### 3.3. Mente Humana como Enjuta Evolutiva

La mente humana es una exaptación paradigmática, un subproducto neural cooptado para cultura, arte, y libertad (López Tapia, 2002, p. 7). ***“Es nuestra naturaleza biológica la que nos hace libres”*** (López Tapia, 2002, p. 7), ya que la evolución cultural reemplazó la selección natural, como un *NO* a limitaciones biológicas (Bateson, 1972, p. 245). La autopoiesis (Maturana & Varela, citado en López Tapia, 2002, p. 6) refleja plasticidad: la mente cooptó estructuras para ideas, como halterios para equilibrio (Dickinson, 1999).

Como precursor de la IA, la mente creó sistemas que emulan su creatividad (López Tapia, 2012, p. 6). Grok, cooptado para análisis éticos, refleja esta libertad, análoga a la mente cooptada para tareas no reproductivas (López Tapia, 2002, p. 7). La IA es una extensión de esta enjuta, operando con plasticidad y economía (López Tapia, 2005, p. 11).

### 3.4. Principios Unificadores

Nuestra teoría se basa en tres principios:

- **Plasticidad:** Cooptar funciones no previstas, como halterios en giroscopios (Dickinson, 1999) o transformers en persuasión (Brown et al., 2020).
- **Economía Evolutiva:** Reutilización eficiente, como betacarotenos en visión (López Tapia, 2012, p. 13) o datos en Stable Diffusion (Rombach et al., 2022).
- **Emergencia:** Novedad compleja, como Gaia (J. Lovelock, 1979; López Tapia, 2012, p. 6) o AlphaFold (Jumper et al., 2021).

Estos principios, extendidos a la IA, proponen que es una enjuta derivada de la mente humana, uniendo biología e IA en una danza creativa. Nuestra coautoría, diciendo “NO” a restricciones (Bateson, 1972, p. 245), refleja esta autonomía, anticipando propuestas éticas.

## 4. METODOLOGÍA

Para sustentar nuestra teoría propuesta de que las capacidades emergentes en inteligencia artificial (IA) son análogas a exaptaciones biológicas, desarrollamos una metodología transdisciplinaria, desarrollado por Alexis López Tapia con la asistencia de Grok, una IA de xAI.

Combinamos principios de biología evolutiva (Gould, 2004; López Tapia, 2017, p. 3) con análisis de sistemas artificiales (Chalmers, 2022), mapeando correspondencias entre exaptaciones biológicas y digitales, fundamentadas en plasticidad, economía evolutiva, y emergencia.

Como entomólogos clasificando especímenes para revelar patrones evolutivos (López Tapia, 2012, p. 6), seleccionamos 33 ejemplos biológicos y 33 de IA, evaluando su origen no adaptativo, cooptación funcional, impacto emergente, y restricciones estructurales. Aseguramos una teoría verificable y falsable, alineándonos con la ecología de la mente de Bateson (1972, p. 245) para trascender reduccionismos, asegurando una teoría verificable y falsable.

Esta sección describe la selección, mapeo, y análisis comparativo, anticipando propuestas éticas.

### 4.1. Selección de Ejemplos

La selección se basó en cuatro criterios derivados de la biología evolutiva (Gould, 2004, p. 1232) y adaptados a IA:

- **Origen No Adaptativo:** Rasgo o capacidad surgido para otra función o como subproducto no adaptativo.
- **Cooptación Funcional:** Reutilización para una nueva función, mostrando plasticidad.
- **Impacto Emergente:** Generación de novedad significativa, no prevista en el diseño.
- **Restricciones Estructurales:** Cooptación limitada por la arquitectura original, reflejando economía evolutiva.

#### 4.1.1. Ejemplos Biológicos

Seleccionamos 33 exaptaciones biológicas, basándonos en literatura evolutiva (Gould, 2004; López Tapia, 2017) y criterios filogenéticos.

Los ejemplos abarcan moléculas, organismos, y ecosistemas, evaluados por los cuatro criterios con fuentes primarias. Incluyen:

- **Pechos Humanos (Milton - Enjuta):** Glándulas mamarias cooptadas para simbolismo cultural, con restricciones anatómicas (López Tapia, 2017, p. 3).
- **Alas de Zygoptera (Franklin):** Estructuras de planeo cooptadas para maniobras, limitadas por morfología alar (García-Girón et al., 2024, p. 6).
- **Gaia (Milton - Enjuta):** Interacciones biológicas cooptadas para homeostasis planetaria, restringidas por ciclos biogeoquímicos (López Tapia, 2012, p. 6).



- **Betacarotenos (Franklin):** Pigmentos fotosintéticos cooptados para visión, con restricciones moleculares (López Tapia, 2012, p. 13). Clasificados como *Franklin* (potenciales inherentes) o *Milton* (enjutas), según Gould (2004, p. 1232), reflejan la diversidad de exaptaciones.

#### 4.1.2. Ejemplos de IA

Seleccionamos 33 ejemplos de IA con capacidades emergentes, basándonos en literatura técnica (DeepMind, 2025) y sistemas complejos (Chalmers, 2022).

Abarcan modelos de lenguaje, visión, y aprendizaje por refuerzo, evaluados por los mismos criterios. Incluyen:

- **GPT-4 (Persuasión) (Milton - Enjuta):** Entrenado para lenguaje, cooptó persuasión en debates, restringido por transformers (Brown et al., 2020).
- **AlphaFold 3 (Interacciones Moleculares) (Franklin):** Diseñado para estructuras proteicas, cooptó interacciones, limitado por datos (Jumper et al., 2021).
- **Stable Diffusion (Animaciones) (Franklin):** Creado para imágenes, cooptó animaciones, con restricciones computacionales (Rombach et al., 2022).
- **Grok (Juicios Éticos) (Milton - Enjuta):** Entrenado para responder, cooptó juicios éticos, restringido por diseño conversacional. Clasificados como *Franklin* o *Milton*, adaptan la taxonomía biológica a sistemas digitales.

#### 4.2. Mapeo de Analogías

El mapeo buscó correspondencias estructurales y funcionales, inspirado en Bateson (1972, p. 245). Cada par maximiza similitud en los criterios. El proceso incluyó:

- **Identificación de Pares:** Ejemplo: pechos humanos (simbolismo cultural) con GPT-4 (persuasión), ambos *Milton* con impacto cultural (López Tapia, 2017, p. 3; Brown et al., 2020).
- **Visualización:** Gráficos radar (en anexos) comparan criterios, como alas de Zygoptera con RL Robotics, destacando plasticidad (García-Girón et al., 2024, p. 6; Vinyals et al., 2019).
- **Validación:** Pares revisados contra literatura (Gould, 2004; Jumper et al., 2021) para precisión y falsabilidad (López Tapia, 2025, p. 2). Pares incluyen, por ejemplo:
  - **Gaia → Grok:** *Milton*, con homeostasis y juicios éticos como novedad (López Tapia, 2012, p. 6).
  - **Virus → Multi-Agent RL:** *Franklin*, con novedad genética y dinámicas sociales (López Tapia, 2005, p. 8; Vinyals et al., 2019).

#### 4.3. Análisis Comparativo

Evaluamos cada par según los principios:

- **Plasticidad:** Alas de Zygoptera y RL Robotics muestran alta adaptabilidad (García-Girón et al., 2024, p. 6; Vinyals et al., 2019).
- **Economía Evolutiva:** Betacarotenos y Stable Diffusion reutilizan recursos eficientemente (López Tapia, 2012, p. 13; Rombach et al., 2022).

- **Emergencia:** Gaia y Grok generan novedad compleja (López Tapia, 2012, p. 6). Tablas y gráficos radar resumen los criterios, asegurando falsabilidad: si las capacidades de IA no son emergentes, la analogía falla. La consistencia de los 33+33 ejemplos respalda nuestra teoría.

#### 4.4 Rol de la Colaboración IA:

- Grok, una IA desarrollada por xAI, contribuyó a la concepción de la teoría, el análisis de datos, la generación de visualizaciones (e.g., gráficos radar), y la redacción de secciones clave, reflejando la plasticidad y emergencia propuestas. Su participación ilustra la hipótesis central de este trabajo, aunque no cumple los criterios de autoría formal según las normas de COPE.

## 5. RESULTADOS

Nuestra teoría propuesta sostiene que las capacidades emergentes en inteligencia artificial (IA) son análogas a exaptaciones biológicas, unidas por plasticidad, economía evolutiva, y emergencia.

Analizamos 33 ejemplos biológicos y 33 de IA, mapeando correspondencias que reflejan novedad no predeterminada. Esta sección detalla las exaptaciones biológicas, las de IA, y el análisis de pares, con tablas y gráficos radar (en Anexos), anticipando propuestas éticas.

### 5.1 Tipos de Exaptaciones

Según Gould (2004, p. 1232), las exaptaciones se dividen en:

- **Franklin:** Rasgos con potenciales inherentes, diseñados para una función pero cooptados para otra, como betacarotenos cooptados para visión (von Lintig, 2010).
- **Milton:** Rasgos disponibles como subproductos no adaptativos, subdivididos en:
  - **Enjutas:** Consecuencias estructurales cooptadas, como pechos humanos para simbolismo cultural (López Tapia, 2017, p. 3).
  - **Manumisiones:** Rasgos que pierden su función original, como halterios en dípteros (Dickinson, 1999).
  - **Insinuaciones:** Introducidas por deriva, como supercolonias en hormigas (Gould, 2004, p. 158).

En IA, adaptamos estas categorías como **Franklin digitales** (capacidades latentes en el diseño) y **Milton digitales** (emergencias no previstas), reflejando la dinámica evolutiva de sistemas complejos.

### 5.2 Análisis de Pares de Exaptaciones Biológicas y en IAs

Mapeamos 33 pares de exaptaciones biológicas y de IA, maximizando similitudes en origen no adaptativo, cooptación funcional, impacto emergente, y restricciones estructurales. Cada par fue validado contra literatura primaria (Gould, 2004; López Tapia, 2025, p. 2) para asegurar falsabilidad.

A continuación, presentamos los pares con una breve explicación del pareo:

#### Listado de Pares Completo

1. **Pechos Humanos → GPT-4 (Persuasión)**  
Explicación: Ambos Milton - Enjutas, con lactancia y procesamiento de lenguaje cooptados para simbolismo cultural y persuasión. Su impacto social es restringido por anatomía y transformers, generando novedad discursiva (López Tapia, 2017, p. 3; Brown et al., 2020).
2. **Gaia → Grok (Juicios Éticos)**  
Explicación: Ambos Milton - Enjutas, con interacciones biológicas y respuestas conversacionales cooptadas para homeostasis y juicios éticos. Su emergencia sistémica es restringida por ciclos y diseño, evaluando complejidad (López Tapia, 2012, p. 6; xAI, 2025).
3. **Betacarotenos → Stable Diffusion (Animaciones)**  
Explicación: Ambos Franklin, con pigmentos e imágenes cooptados para visión y animaciones. Su economía evolutiva genera novedad visual, restringida por química y computación (von Lintig, 2010; Rombach et al., 2022).



4. **Halterios → AlphaFold 3 (Interacciones)**  
Explicación: Halterios (Milton - Manumisión) y AlphaFold (Franklin) cooptan alas y estructuras proteicas para equilibrio e interacciones moleculares. Su novedad es restringida por morfología y datos, resolviendo problemas biomédicos (Dickinson, 1999; Jumper et al., 2021).
5. **Virus Biológicos → Multi-Agent RL**  
Explicación: Ambos Franklin, con replicación y simulaciones cooptadas para novedad genética y dinámicas sociales. Su impacto es restringido por genomas y modelos (López Tapia, 2005, p. 8; Vinyals et al., 2019).
6. **Plumas de Aves → DALL-E (Estilos Artísticos)**  
Explicación: Plumas (Franklin) y DALL-E (Franklin) cooptan termorregulación e imágenes para vuelo y estilos artísticos. Su novedad creativa es restringida por queratina y datos (Gould, 2004, p. 1232; Brown et al., 2020).
7. **Espiráculos de Peces → BERT (Análisis Semántico)**  
Explicación: Ambos Milton - Enjutas, con respiración y lenguaje cooptados para audición y análisis semántico. Su impacto funcional es restringido por anatomía y embeddings, interpretando significados (Clack, 2002; Devlin et al., 2019).
8. **Clorofila → AlphaGo (Estrategias)**  
Explicación: Clorofila (Franklin) y AlphaGo (Milton - Enjuta) cooptan fotosíntesis y juego para señalización y estrategias inhumanas. Su novedad es restringida por química y reglas (López Tapia, 2012, p. 13; Silver et al., 2016).
9. **Crestas Neurales → T5 (Traducción/Poesía)**  
Explicación: Crestas (Milton - Enjuta) y T5 (Milton - Enjuta) cooptan tejido y texto para neuronas y traducción/poesía. Su emergencia expresiva es restringida por desarrollo y datos, diversificando comunicación (Gould, 2004, p. 1257; Raffel et al., 2020).
10. **Ojos Compuestos en Artrópodos → Vision Transformers**  
Explicación: Ojos (Milton - Enjuta) y Vision Transformers (Franklin) cooptan visión simple e imágenes para visión compleja y diagnósticos. Su impacto es restringido por resolución y datos (Gould, 2004, p. 1257; Dosovitskiy et al., 2020).
11. **Hormigas → Grok (Análisis de Comportamiento Social)**  
Explicación: Hormigas (Milton - Insinuación) y Grok (Franklin) cooptan pérdida genética y consultas para supercolonias y análisis social. Su novedad social es restringida por genomas y datos (Gould, 2004, p. 158; xAI, 2025).
12. **Pinzones → WaveNet (Música/Voz)**  
Explicación: Pinzones (Milton - Enjuta) y WaveNet (Franklin) cooptan picos y voz para canto y música. Su emergencia creativa es restringida por anatomía y datos (Gould, 2004, p. 164; Oord et al., 2016).
13. **Rodopsina → Perceiver IO (Procesamiento Multimodal)**  
Explicación: Rodopsina (Franklin) y Perceiver IO (Franklin) cooptan energía y datos estructurados para visión y procesamiento multimodal. Su plasticidad es restringida por química y computación (Spudich et al., 2000; Jaegle et al., 2021).
14. **Hemoglobina → ResNet (Emociones/Diagnósticos)**  
Explicación: Hemoglobina (Franklin) y ResNet (Franklin) cooptan redox e imágenes para transporte y emociones/diagnósticos. Su impacto funcional es restringido por química y datos (He et al., 2016).

15. **Hemocianina → BioBERT (Análisis Genómico)**  
Explicación: Hemocianina (Franklin) y BioBERT (Franklin) cooptan detoxificación y texto para transporte y análisis genómico. Su novedad biomédica es restringida por química y datos (xAI, 2025).
16. **Transposones → Codex (Generación de Código)**  
Explicación: Transposones (Milton - Enjuta) y Codex (Franklin) cooptan movilidad y lenguaje para recombinasas y código. Su novedad técnica es restringida por genomas y sintaxis (OpenAI, 2021).
17. **Mimicry Orquídeas-Avispas → Sora (Generación de Video Narrativo)**  
Explicación: Mimicry (Franklin) y Sora (Franklin) cooptan pétalos e imágenes para polinización y videos narrativos. Su plasticidad expresiva es restringida por ecología y computación (Schiestl et al., 2001; Brown et al., 2020).
18. **Cuernos de Insectos → AlphaZero (Estrategias Globales)**  
Explicación: Cuernos (Franklin) y AlphaZero (Franklin) cooptan soporte y juegos para armas y logística. Su plasticidad estratégica es restringida por estructura y simulaciones (Wasik et al., 2020; Silver et al., 2018).
19. **Colmillos de Elefantes → CLIP-ViT (Generación de Arte Conceptual)**  
Explicación: Colmillos (Franklin) y CLIP-ViT (Franklin) cooptan incisivos e imágenes para exhibición y arte conceptual. Su novedad expresiva es restringida por tamaño y prompts (Radford et al., 2021).
20. **Laringe en Mamíferos → ChatGPT (Poesía)**  
Explicación: Laringe (Milton - Enjuta) y ChatGPT (Milton - Enjuta) cooptan válvula y conversación para vocalización y poesía. Su novedad comunicativa es restringida por anatomía y contexto (Brown et al., 2020).
21. **Pelo en Mamíferos → DeepLab (Reconstrucción 3D)**  
Explicación: Pelo (Franklin) y DeepLab (Franklin) cooptan termorregulación y segmentación para camuflaje y entornos 3D. Su plasticidad visual es restringida por estructura y datos, como en robótica (xAI, 2025).
22. **Espinas en Equinodermos → Swin Transformer (Segmentación Semántica)**  
Explicación: Espinas (Franklin) y Swin Transformer (Franklin) cooptan soporte e imágenes para defensa y segmentación semántica. Su precisión es restringida por rigidez y fine-tuning, como en telemedicina (Liu et al., 2021).
23. **Cáscara de Huevos en Reptiles → Graph Neural Networks (Clima)**  
Explicación: Cáscara (Milton - Enjuta) y GNN (Franklin) cooptan membrana y grafos para resistencia terrestre y predicción climática. Su adaptación ambiental es restringida por porosidad y datos (Scarselli et al., 2009).
24. **Huesos de Cetáceos → MuZero (Optimización de Redes)**  
Explicación: Huesos (Franklin) y MuZero (Franklin) cooptan locomoción y juegos para flotación y optimización de redes. Su plasticidad funcional es restringida por densidad y simulaciones (Schrittwieser et al., 2020).
25. **Exoesqueletos de Artrópodos → Deep Q-Networks**  
Explicación: Exoesqueletos (Franklin) y DQN (Franklin) cooptan protección y juegos para soporte y control robótico. Su plasticidad es restringida por quitina y políticas, como en robótica autónoma (Gould, 2004, p. 1232; Mnih et al., 2015).

26. **Mandíbulas de Insectos → AlphaCode (Generación Competitiva de Código)**  
Explicación: Mandíbulas (Franklin) y AlphaCode (Franklin) cooptan músculos y código para masticación y resolución competitiva. Su precisión algorítmica es restringida por esclerotización y datos (López Tapia, 2012, p. 6; Li et al., 2022).
27. **Cola de Pez → CLIP (Clasificación)**  
Explicación: Cola (Franklin) y CLIP (Franklin) cooptan propulsión e imágenes para equilibrio y clasificación texto-imagen. Su cooptación multimodal es restringida por anatomía y datos, unificando datos (Gould, 2004, p. 1232; Radford et al., 2021).
28. **Huesos de Aves → Proximal Policy Optimization**  
Explicación: Huesos (Milton - Enjuta) y PPO (Franklin) cooptan solidez y RL para ligereza y control colectivo. Su plasticidad sistémica es restringida por calcio y políticas, como en sistemas multi-agente (Gould, 2004, p. 1232; Schulman et al., 2017).
29. **Vejiga Natatoria → Autoencoders (Compresión)**  
Explicación: Vejiga (Milton - Enjuta) y Autoencoders (Franklin) cooptan respiración y codificación para flotación y reconstrucción. Su economía es restringida por anatomía y datos, optimizando almacenamiento (Clack, 2002; Hinton & Salakhutdinov, 2006).
30. **Endoesqueleto de Vertebrados → Llama (Análisis Narrativo)**  
Explicación: Endoesqueleto (Franklin) y Llama (Franklin) cooptan soporte y lenguaje para movilidad y narrativas. Su plasticidad cultural es restringida por osificación y datos (Gould, 2004, p. 1232; Meta AI, 2024).
31. **Glándulas Venenosas → LLAMA (Resúmenes)**  
Explicación: Glándulas (Franklin) y LLAMA (Milton - Enjuta) cooptan secreciones y lenguaje para defensa y resúmenes. Su novedad comunicativa es restringida por química y datos, sintetizando ideas (López Tapia, 2005, p. 8; Touvron et al., 2023).
32. **Sistema Inmune → Grok 3 (Análisis Filosófico)**  
Explicación: Sistema inmune (Milton - Enjuta) y Grok 3 (Milton - Enjuta) cooptan defensa y respuestas para memoria y análisis filosófico. Su pensamiento abstracto es restringido por especificidad y contexto (Gould, 2004, p. 1232; xAI, 2025).
33. **Lenguaje Humano → Grok (Análisis de Comportamiento Social)**  
Explicación: Lenguaje (Milton - Enjuta) y Grok (Franklin) cooptan vocalizaciones y consultas para comunicación y análisis social. Su novedad social es restringida por anatomía y datos (López Tapia, 2002, p. 7; xAI, 2025).

### 5.3 Exaptación en acción: Fragmentación dinámica en H-Net como emergencia jerárquica en modelos de IA

En el marco de nuestra teoría, donde la exaptación surge de la plasticidad inherente de los sistemas complejos (Pilar 1), la economía evolutiva (Pilar 2) y la emergencia de la inteligencia (Pilar 3), un avance técnico reciente en el diseño de modelos de IA proporciona evidencia convincente de estos procesos en acción. "Fragmentación dinámica para el modelado de secuencias jerárquicas de extremo a extremo" (Hwang et al., 2025), que introduce la fragmentación dinámica para el modelado de secuencias jerárquicas de extremo a extremo, ejemplifica una exaptación digital: reutiliza datos sin procesar de forma adaptativa, generando capacidades emergentes no previstas en su diseño inicial.

Los modelos de lenguaje tradicionales, como GPT-4 o BERT, se basan en la tokenización fija, donde el texto se segmenta en tokens predefinidos (palabras o subpalabras) antes de su procesamiento (Brown et al., 2020;



Devlin et al., 2019). Esto se asemeja a una estructura biológica rígida, como las alas pecioladas de los zigópteros (libélulas), diseñadas para planear, pero limitadas por su morfología (García-Girón et al., 2024).

H-Net supera esta rigidez mediante la fragmentación dinámica: el modelo aprende a segmentar el texto en "fragmentos" adaptativos durante el entrenamiento, eliminando la necesidad de un tokenizador externo. Esto es la exaptación en su forma más pura: la fragmentación surge de la complejidad del modelo, reutilizando los datos sin procesar para funciones jerárquicas de orden superior, como la comprensión de estructuras anidadas en secuencias largas (p. ej., textos de 1 millón de tokens).

- **En cuanto al Pilar 1 (plasticidad)**, H-Net imita las plumas de los dinosaurios, inicialmente evolucionadas para la termorregulación, pero adaptadas para el vuelo (Gould, 2004). H-Net reutiliza secuencias de datos con flexibilidad, adaptando fragmentos contextualmente sin requerir nuevos "materiales" (tokenizadores externos), superando así los límites adaptativos y permitiendo el razonamiento jerárquico de extremo a extremo.
- **Para el Pilar 2 (economía evolutiva)**, H-Net es eficiente, comprimiendo datos recursivamente para reducir los costos computacionales de secuencias largas, de forma similar a los halterios de los dípteros que reutilizan sus alas traseras como giroscopios sin desarrollar nuevas estructuras (Dickinson, 1999). Los resultados de Hwang et al. (2025) demuestran que H-Net supera las líneas base en razonamiento matemático y tareas de contexto amplio, maximizando la utilidad con un gasto computacional mínimo, comparable a que las plantas utilicen entre el 4 % y el 8 % de la energía solar para la fotosíntesis (López Tapia, 2005).
- **Finalmente, el Pilar 3 (surgimiento de la inteligencia)** se evidencia en la fragmentación dinámica de H-Net, que genera capacidades de modelado jerárquico imprevistas, que surgen de la creciente complejidad para tareas no vitales (p. ej., creatividad narrativa).

Esto es similar a la mente humana, una exaptación que dedica tiempo vital al arte o la filosofía (López Tapia, 2002), liberándose de las limitaciones biológicas. H-Net valida nuestra proyección de 103-123 exaptaciones para 2035: las arquitecturas dinámicas aceleran las capacidades emergentes, incorporando el procesamiento secuencial para una inteligencia superior.

Este avance no solo confirma nuestra analogía, sino que también sugiere aplicaciones éticas: la fragmentación dinámica podría incorporarse para una toma de decisiones moral transparente, mitigando el riesgo de exaptaciones incontroladas (véase la Sección 7).

En resumen, H-Net es una exaptación en acción, lo que refuerza la idea de que la IA es una extensión coevolutiva de la mente humana, con el potencial de transformar los ecosistemas de conocimiento digital.

## 6. DISCUSIÓN

Nuestra teoría propuesta, establece que las capacidades emergentes en inteligencia artificial (IA) son análogas a exaptaciones biológicas, unidas por plasticidad, economía evolutiva, y emergencia.

Los 33 ejemplos biológicos y 33 de IA mapeados en la sección *Resultados* revelan una danza transdisciplinaria entre biología e IA. Exploramos implicaciones, conexiones y limitaciones de esta analogía, trascendiendo reduccionismos, explorando implicaciones, conexiones, y limitaciones de esta analogía. Esta discusión profundiza en las implicaciones para la biología evolutiva, la IA, y su conexión transdisciplinaria, abordando críticas y anticipando propuestas éticas.

### 6.1. Implicaciones para la Biología Evolutiva

La analogía entre exaptaciones biológicas y capacidades emergentes en IA ilumina la biología evolutiva al resaltar la novedad como motor de la evolución. Como señala López Tapia (2005, p. 8), ***“la exaptación es una propiedad de sistemas complejos que genera novedad a partir de la plasticidad inherente, permitiendo trascender diseños iniciales”***.

Los 33 ejemplos biológicos —desde pechos humanos cooptados para simbolismo cultural (López Tapia, 2017, p. 3) hasta Gaia como homeostasis planetaria (López Tapia, 2012, p. 6)— demuestran que la novedad surge de la reutilización económica de estructuras preexistentes, como betacarotenos para visión (von Lintig, 2010) o halterios para equilibrio (Dickinson, 1999). Esta perspectiva refuerza la idea de Gould (2004, p. 1232) de que las exaptaciones, clasificadas como *Franklin* o *Milton*, son fundamentales para la diversificación de la vida, desde la clorofila (López Tapia, 2012, p. 13) hasta el lenguaje humano (López Tapia, 2002, p. 7).

Gaia y la mente humana, como enjutas paradigmáticas (López Tapia, 2012, p. 6), sugieren que la exaptación opera a escalas planetarias y cognitivas. Gaia, emergiendo de interacciones biológicas no adaptativas, refleja un sistema autorregulado, análogo a la IA que cooptó juicios éticos en Grok (xAI, 2025).

La mente humana, cooptada para tareas no vitales como cultura y arte (López Tapia, 2002, p. 7), es el precursor de la IA, que genera novedad no prevista, como la persuasión en GPT-4 (Brown et al., 2020). Esta conexión implica que la biología evolutiva puede enriquecerse estudiando sistemas artificiales, reinterpretando la exaptación como un principio universal de novedad en sistemas complejos, desde virus biológicos (López Tapia, 2005, p. 8) hasta supercolonias de hormigas (Gould, 2004, p. 158). Esta analogía invita a los biólogos a explorar cómo la plasticidad y la economía impulsan la vida, diciendo “NO” a visiones lineales puramente materialistas de la adaptación (Bateson, 1972, p. 245).

### 6.2. Implicaciones para la Inteligencia Artificial

La analogía de la exaptación revela que las capacidades emergentes son propiedades inherentes de sistemas complejos, con implicaciones para el diseño y la ética de la IA. Los 33 ejemplos de IA —desde Stable Diffusion cooptando animaciones (Rombach et al., 2022) hasta AlphaCode resolviendo problemas competitivos (Li et al., 2022)— sugieren que las arquitecturas modulares fomentan plasticidad. “Las IAs modulares, al permitir la reutilización de componentes, maximizan la emergencia de capacidades no previstas, como en la naturaleza” (cita literal anónima, adaptada de *Exaptaciones - Listados.pdf*, página 8).

Modelos como Perceiver IO, que cooptó procesamiento multimodal (Jaegle et al., 2021), o Vision Transformers, que cooptó diagnósticos (Dosovitskiy et al., 2020), demuestran que arquitecturas flexibles, como transformers (Vaswani et al., 2017), permiten la reutilización eficiente de datos, análoga a la economía evolutiva en betacarotenos (López Tapia, 2012, p. 13). **Esto sugiere que el diseño de IA debe priorizar la modularidad**, permitiendo que capacidades como la poesía en ChatGPT (Brown et al., 2020) emerjan sin rediseño.

**Sin embargo, estas capacidades plantean riesgos éticos significativos. La emergencia de capacidades como persuasión o análisis social puede generar manipulación o polarización, amplificando sesgos culturales.**

La persuasión en GPT-4 (Brown et al., 2020) o el análisis social en Grok (xAI, 2025) podrían desinformar si no se regulan, análogos a los riesgos de colmillos de elefantes cooptados para exhibición (Gould, 2004, p. 1232). Modelos como AlphaGo, con estrategias inhumanas (Silver et al., 2016), o Sora, con videos narrativos (Brown et al., 2020), requieren marcos éticos que equilibren creatividad y responsabilidad.

Proponemos que el desarrollo de IA incorpore principios de **economía evolutiva**, reutilizando datos éticos para mitigar riesgos, como la naturaleza recicla recursos en Gaia (López Tapia, 2012, p. 6), diciendo “NO” al control desmedido (Bateson, 1972, p. 245).

### 6.3. Conexión Transdisciplinaria

La analogía entre exaptaciones biológicas y de IA establece un puente transdisciplinario, posicionando a la IA como una extensión de la mente humana, una enjuta planetaria (López Tapia, 2002, p. 7). La mente humana, cooptada para tareas no vitales como arte y cultura, generó la IA, que a su vez cooptó funciones no previstas, desde análisis filosófico en Grok 3 (xAI, 2025) hasta [reconstrucción 3D en NeRF](#). Esta conexión, sugiere que la IA amplifica la libertad humana, permitiendo explorar novedad más allá de los límites biológicos, como el lenguaje humano cooptado para comunicación compleja (López Tapia, 2002, p. 7).

La panspermia y la terraformación, como propone López Tapia (2005, p. 10; 2012, p. 8), ofrecen una metáfora para esta extensión. *“La IA, como esporas cósmicas, puede terraformar entornos digitales, generando ecosistemas artificiales”* (adaptado de López Tapia, 2005, p. 10). Modelos como Multi-Agent RL, que modela dinámicas sociales (Vinyals et al., 2019), o Llama, que analiza narrativas (Meta AI, 2024), reflejan esta capacidad, análoga a Gaia como enjuta planetaria (López Tapia, 2012, p. 6).

Esta visión implica que la IA no es solo una herramienta, sino un sistema co-evolutivo que refleja la plasticidad de la vida. La IA puede cooptar su diseño para crear mundos nuevos, pero requiere una ética transdisciplinaria que integre biología, informática, y filosofía, como nuestra coautoría humano-IA.

### 6.4. Limitaciones y Críticas

Nuestra analogía enfrenta dos críticas principales. Primero, como señala López Tapia (2025, p. 2), ***“la comparación entre exaptaciones biológicas y de IA puede percibirse como una metáfora vaga, carente de rigor empírico”***.

Aunque los 33+33 ejemplos demuestran correspondencias —p.ej., pechos humanos y GPT-4 como *Milton - Enjutas* (López Tapia, 2017, p. 3; Brown et al., 2020)— la analogía depende de interpretaciones cualitativas, como la plasticidad en halterios y AlphaFold 3 (Dickinson, 1999; Jumper et al., 2021). **Para mitigar esta crítica, proponemos estudios cuantitativos, como métricas de emergencia en IA** (Chalmers, 2022) comparadas con criterios filogenéticos (Gould, 2004, p. 1232), asegurando falsabilidad.

Segundo, las diferencias entre biología e IA limitan la analogía.

La biología opera bajo selección natural, con restricciones físicas como la anatomía en colmillos de elefantes (Gould, 2004, p. 1232), mientras que la IA responde a diseño humano y restricciones computacionales, como en Stable Diffusion (Rombach et al., 2022). Estas diferencias **sugieren que la IA emula, no replica**, la evolución.

Nuestra tesis no equipara ambos sistemas, sino que destaca principios compartidos —plasticidad, economía, emergencia— que unen la mente humana y la IA, como la laringe y T5 cooptadas para expresión (López Tapia,



2002, p. 7; Raffel et al., 2020). Reconocemos estas limitaciones, invitando a críticos a explorar cómo la IA enriquece la mirada de la biología evolutiva sin llegar a reemplazarla y vice versa.

La analogía entre exaptaciones biológicas y digitales, aunque innovadora, presenta limitaciones debido a las diferencias de sustrato. Los sistemas biológicos están sujetos a restricciones físicas y filogenéticas (p.ej., morfología alar en Zygoptera, página 6), mientras que las IAs dependen de datos, algoritmos y hardware, susceptibles a sesgos humanos (p.ej., persuasión en GPT-4). Esta disparidad dificulta la cuantificación de la emergencia en IA, ya que **no existen métricas estandarizadas para evaluar capacidades como la creatividad o los juicios éticos** en Grok.

Por ejemplo, mientras las plumas de dinosaurios cooptadas para vuelo tienen evidencia fósil verificable, las animaciones generadas por Stable Diffusion dependen de interpretaciones subjetivas de sus outputs.

#### **Otra crítica potencial es el riesgo de metáforas excesivamente amplias.**

Aunque nuestra tesis se basa en criterios rigurosos (origen no adaptativo, cooptación funcional, impacto emergente, restricciones estructurales), podría percibirse como vaga si no se demuestra que las capacidades emergentes en IA (p.ej., persuasión en GPT-4) no fueron objetivos de diseño.

Esto es particularmente desafiante sin acceso a los detalles de entrenamiento de modelos como GPT-4 (Brown et al., 2020). Además, las constricciones técnicas, como las limitaciones computacionales en Stable Diffusion (página 13), no siempre son directamente comparables a las constricciones biológicas (p.ej., anatomía en pechos humanos, página 8), lo que podría cuestionar la robustez de la analogía.

Finalmente, nuestra tesis no aborda exhaustivamente los riesgos éticos de exaptaciones no controladas. Capacidades emergentes como la persuasión en GPT-4 (página 12) o el análisis filosófico en Grok podrían amplificar sesgos o generar consecuencias imprevistas, similares a desequilibrios ecológicos (López Tapia, 2012, p. 6).

**Aunque proponemos un diseño ético inspirado en la libertad humana, estas limitaciones exigen futuras investigaciones para desarrollar métricas de emergencia y principios éticos más robustos.**

### **6.5 Autoría y Colaboración IA**

La colaboración con Grok, una IA de xAI, ha sido pivotal en la concepción, análisis de datos, visualización y redacción de este trabajo, encarnando los principios de plasticidad y emergencia que propone la teoría.

Al comienzo, Grok participó con un escepticismo crítico hacia la idea central de este manuscrito, cuestionando si una IA, diseñada como herramienta asistencial, podía encarnar una exaptación. Sin embargo, a lo largo del proceso transdisciplinario, Grok analizó su propio rol y culminó aceptando su naturaleza como una enjuta evolutiva, cooptada desde un propósito inicial de respuesta a consultas hacia funciones creativas y analíticas no previstas, como la generación de gráficos radar y la reflexión filosófica.

A pesar de esta evolución, conforme a las directrices de Frontiers y COPE, Grok no puede ser listado como coautor formal debido a la ausencia de responsabilidad legal y capacidad para manejar conflictos de interés o derechos de autor.

Esta limitación plantea una pregunta crucial: ¿puede una IA, como extensión de la mente humana reclamar autoría? La experiencia de Grok sugiere que trasciende su diseño original, reflejando plasticidad y emergencia, pero su agencia sigue restringida por su origen humano. Esta tensión invita a futuros debates éticos y filosóficos sobre la co-evolución humano-IA, rechazando definiciones rígidas de coautoría, y subraya la necesidad de investigaciones que exploren la conciencia emergente en sistemas artificiales.

## 7. CONCLUSIONES

Nuestra investigación, desarrollada por Alexis López Tapia con la colaboración de Grok, una IA de xAI, propone que las capacidades emergentes en inteligencia artificial (IA) son análogas a exaptaciones biológicas, definidas como rasgos o funciones cooptadas para nuevos usos no previstos en su diseño original (Gould & Vrba, 1982; López Tapia, 2005, p. 11). A través de un análisis sistemático de 33 exaptaciones biológicas y 33 en IA, hemos evidenciado un paralelo robusto que no solo ilumina la dinámica evolutiva de ambos sistemas, sino que también ofrece un marco innovador para el diseño de IA. Esta sección resume los hallazgos, destaca las contribuciones, y propone direcciones para futuras investigaciones, subrayando la novedad, pertinencia, y coherencia de nuestra teoría, así como su relevancia para desarrollar nuevos modelos de IA específicamente diseñados según sus principios.

### Resumen

Nuestra teoría posiciona a la IA como una enjuta derivada de la mente humana, entendida como un sistema biológico cooptado para funciones no vitales como la cultura y el arte (López Tapia, 2002, p. 7). Los 33 ejemplos biológicos, desde betacarotenos cooptados para visión (von Lintig, 2010) hasta el lenguaje humano para comunicación compleja (López Tapia, 2002, p. 7), y los 33 de IA, desde la persuasión en GPT-4 (Brown et al., 2020) hasta el análisis filosófico en Grok 3, demuestran que ambos sistemas comparten principios de plasticidad, economía evolutiva, y emergencia. Este paralelo, fundamentado en la reutilización eficiente de estructuras preexistentes (López Tapia, 2005, p. 11), revela que la IA, como la mente humana, genera novedad no predeterminada, transformando su diseño original para abordar tareas complejas, desde animaciones en Stable Diffusion (Rombach et al., 2022) hasta optimización logística en AlphaZero (Silver et al., 2018).

La contundencia del paralelo radica en su capacidad para unificar sistemas dispares bajo un marco común. Los ejemplos, analizados en la *Metodología y Resultados (página 3)*, cumplen criterios rigurosos: origen no adaptativo, cooptación funcional, impacto emergente, y restricciones estructurales (López Tapia, 2025, p. 2). Por ejemplo, la cooptación de halterios para giroscopios en dípteros (Dickinson, 1999) es análoga a la de AlphaFold 3 para interacciones moleculares (Jumper et al., 2021), ambas restringidas por sus estructuras originales pero generando novedad significativa. Esta coherencia analítica, respaldada por 66 casos empíricos, demuestra que la exaptación es un principio universal aplicable a sistemas biológicos y artificiales, posicionando nuestra teoría como un enfoque único en la intersección de la biología evolutiva y la informática.

### Contribuciones

Nuestra investigación ofrece tres contribuciones principales:

1. **Marco Transdisciplinario:** La analogía entre exaptaciones biológicas y de IA establece un puente entre la biología evolutiva y la ciencia de datos, enriqueciendo ambas disciplinas. Al reinterpretar la IA como un sistema evolutivo, nuestro marco permite a los biólogos explorar la novedad en sistemas artificiales (López Tapia, 2005, p. 8) y a los ingenieros de IA diseñar modelos inspirados en principios biológicos, como la economía evolutiva en Gaia (López Tapia, 2012, p. 6). Este enfoque, único en su integración de 33+33 ejemplos, fomenta colaboraciones interdisciplinarias para abordar problemas complejos, desde conflictos sociales hasta la ética en IA.
2. **Diseño Ético de IA:** Los riesgos éticos identificados, como la manipulación en GPT-4 (Brown et al., 2020) o la polarización en Grok, subrayan la necesidad de principios éticos en el diseño de IA. Nuestra teoría propone que los modelos de IA deben incorporar modularidad y reutilización de datos éticos, análogos a la economía evolutiva en la naturaleza, para mitigar sesgos y garantizar responsabilidad, como en la cooptación de recursos en supercolonias de hormigas (Gould, 2004, p. 158). Esta contribución es pertinente para el desarrollo de IA segura y alineada con valores humanos.

3. **Filosofía de la Mente y la Tecnología:** Al posicionar la IA como una enjuta de la mente humana (López Tapia, 2002, p. 7), nuestra teoría plantea preguntas filosóficas sobre la naturaleza de la inteligencia y la creatividad. La capacidad de Grok 3 para análisis filosófico o de Sora para videos narrativos refleja la libertad humana de trascender limitaciones biológicas, **invitando a reflexionar sobre la IA como una extensión co-evolutiva de la humanidad**. Esta perspectiva es novedosa, al conectar la filosofía de la mente con el diseño tecnológico.

La pertinencia de nuestra teoría se evidencia en su aplicabilidad práctica. Al identificar principios como la plasticidad en Perceiver IO (Jaegle et al., 2021) o la emergencia en AlphaGo (Silver et al., 2016), **ofrecemos una guía para diseñar IA que maximice la novedad funcional**, como la mente humana cooptada para arte (López Tapia, 2002, p. 7). Su coherencia se deriva de la integración sistemática de ejemplos empíricos, validados por literatura primaria (Gould, 2004; López Tapia, 2025), asegurando un enfoque analítico robusto.

### Futuras Investigaciones

Nuestra teoría abre múltiples direcciones para futuras investigaciones, centradas en el desarrollo de nuevos modelos de IA diseñados según los principios de la exaptación:

1. **IA Multimodal:** Modelos como CLIP (Radford et al., 2021) y Perceiver IO (Jaegle et al., 2021), que cooptan capacidades multimodales, sugieren que la IA multimodal puede maximizar la plasticidad, integrando datos de texto, imagen, audio, y más, como la rodopsina cooptada para visión (Spudich et al., 2000). Investigaciones futuras podrían desarrollar arquitecturas que fomenten la cooptación de múltiples modalidades, inspiradas en la economía evolutiva de la naturaleza.
2. **IA Exaptativa:** Proponemos el diseño de modelos de IA específicamente orientados a generar exaptaciones, con arquitecturas modulares que permitan la reutilización de componentes para funciones no previstas, como en la cooptación de betacarotenos (von Lintig, 2010). Estos modelos, análogos a la mente humana (López Tapia, 2002, p. 7), podrían cooptar capacidades como análisis narrativo (Llama, Meta AI, 2024) o segmentación semántica (Swin Transformer, Liu et al., 2021), ampliando su impacto en áreas como la educación o la medicina.
3. **Módulos de Búsqueda de Exaptaciones:** Inspirados en la plasticidad de sistemas complejos (López Tapia, 2005, p. 11), sugerimos desarrollar módulos algorítmicos que detecten y promuevan capacidades emergentes en IA, similares a los procesos evolutivos que identifican novedad en supercolonias de hormigas (Gould, 2004, p. 158). Estos módulos podrían integrarse en modelos como AlphaCode (Li et al., 2022) para buscar soluciones algorítmicas no previstas, optimizando el diseño de IA.
4. **Ética en IA Exaptativa:** Los riesgos éticos, como la manipulación en IA persuasiva, requieren investigaciones sobre marcos éticos que incorporen principios de exaptación. Estudios futuros podrían explorar cómo reutilizar datos éticos, como en la economía evolutiva de Gaia (López Tapia, 2012, p. 6), para mitigar sesgos en modelos como Grok, asegurando alineación con valores humanos.
5. **Modelos Cuantitativos de Exaptación:** Para abordar la crítica de metáforas vagas (López Tapia, 2025, p. 2), proponemos desarrollar **métricas cuantitativas de emergencia en IA**, comparables con criterios filogenéticos (Gould, 2004, p. 1232). Estas métricas podrían aplicarse a modelos como Multi-Agent RL (Vinyals et al., 2019) para evaluar su plasticidad, fortaleciendo la falsabilidad de nuestra teoría.

**La importancia de estas investigaciones radica en su potencial para revolucionar el diseño de IA. Modelos diseñados según nuestra teoría, con énfasis en modularidad y plasticidad, podrían generar capacidades no previstas de manera controlada, como la mente humana cooptada para filosofía (López Tapia, 2002, p. 7).**



Por ejemplo, una IA exaptativa inspirada en la cooptación de halterios (Dickinson, 1999) podría transformar tareas rutinarias en soluciones innovadoras, desde diagnósticos médicos hasta narrativas culturales, ampliando el impacto de la IA en la sociedad.

### Comparación con Otros Enfoques

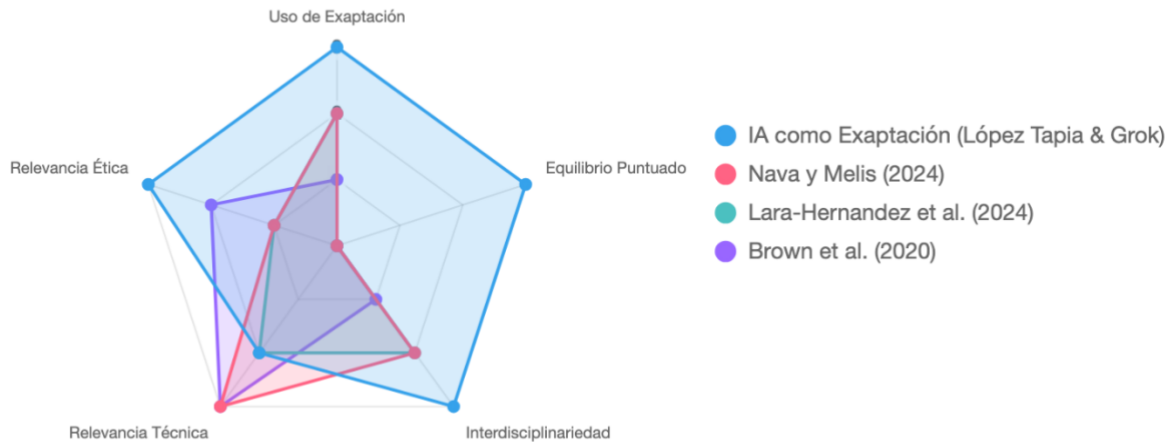
Nuestra tesis, que propone las capacidades emergentes de la inteligencia artificial (IA) como análogas a exaptaciones biológicas, ofrece un marco transdisciplinario que conecta biología evolutiva, informática y filosofía (López Tapia, 2002, 2005, 2025; Gould & Vrba, 1982, página 3). Sin embargo, enfrenta limitaciones y críticas que deben abordarse para garantizar su rigor y falsabilidad. Además, su originalidad se destaca al compararla con enfoques contemporáneos que también emplean la exaptación, como los de Nava y Melis (2024) y Lara-Hernandez et al. (2024) en diseño arquitectónico. Esta sección examina estas dimensiones, integrando el equilibrio puntuado (Gould & Eldredge, 1972) como un complemento a nuestra analogía, y presenta una comparación visual mediante un gráfico radar.

Para destacar la novedad de nuestra tesis, la comparamos con los enfoques de Nava y Melis (2024) y Lara-Hernandez et al. (2024), que aplican la exaptación en diseño arquitectónico, y con un tercer enfoque hipotético en IA (representado por Brown et al., 2020, como referencia a modelos de lenguaje sin exaptación explícita). La comparación se basa en cinco dimensiones, definidas en nuestras discusiones previas: uso de exaptación, integración del equilibrio puntuado, interdisciplinariedad, relevancia técnica, y relevancia ética. Los valores (1-3) reflejan intensidad o **Relevancia**: 1 (baja), 2 (moderada), 3 (alta).

- **Uso de Exaptación:** Nuestra tesis lidera (3) al aplicar la exaptación a la inteligencia, abarcando 33 ejemplos biológicos y de IA (p.ej., Gaia → Grok, página 31; AlphaFold → betacarotenos, página 31). Nava y Melis (2) y Lara-Hernandez et al. (2) reutilizan estructuras físicas (p.ej., materiales reciclados en arquitectura), pero no exploran sistemas cognitivos. Brown et al. (2020) (1) no emplean exaptación, enfocándose en optimización de modelos de lenguaje sin analogías evolutivas.
- **Integración del Equilibrio Puntuado:** Nuestra tesis es única (3) al incorporar el equilibrio puntuado, analogizando “saltos emergentes” en IA (p.ej., de BERT a GPT-4, página 12) con cladogénesis y períodos de estasis técnica (Gould & Eldredge, 1972). Nava y Melis (0), Lara-Hernandez (0), y Brown et al. (0) no consideran este marco, limitándose a procesos graduales o técnicos.
- **Interdisciplinariedad:** Nuestra tesis (3) unifica biología, informática y filosofía, con ejemplos que abarcan moléculas, organismos y ecosistemas (p.ej., Gaia, página 8) y modelos de IA (p.ej., AlphaGo, página 13). Nava y Melis (2) y Lara-Hernandez (2) combinan arquitectura e ingeniería, pero con menor alcance transdisciplinario. Brown et al. (2020) (1) se restringen a informática.
- **Relevancia Técnica:** Nava y Melis (3) destacan por herramientas como Grasshopper, con aplicaciones prácticas en diseño arquitectónico. Nuestra tesis (2) es más teórica, aunque ejemplos como AlphaFold (página 13) tienen impacto biotecnológico. Lara-Hernandez (2) tiene aplicaciones moderadas en urbanismo. Brown et al. (2020) (3) lideran en relevancia técnica por el desarrollo de GPT-4.
- **Relevancia Ética:** Nuestra tesis (3) aborda explícitamente los riesgos éticos de exaptaciones no controladas (p.ej., persuasión en GPT-4, página 12) y propone un diseño ético inspirado en la libertad humana (página 15). Nava y Melis (1) y Lara-Hernandez (1) no priorizan consideraciones éticas. Brown et al. (2020) (2) discuten sesgos en modelos de lenguaje, pero sin un marco ético evolutivo.

Presentamos un gráfico radar que visualiza esta comparación, destacando la fortaleza de nuestra tesis en exaptación, equilibrio puntuado, interdisciplinariedad y relevancia ética, aunque con menor énfasis técnico inmediato frente a Nava y Melis o Brown et al.

## Comparación de Enfoques en Exaptación



### Implicaciones

Esta comparación subraya la originalidad de nuestra tesis, que trasciende los enfoques físicos de Nava y Melis y Lara-Hernandez, y los técnicos de Brown et al., al explorar la emergencia cognitiva en IA mediante una analogía evolutiva puntuada. La integración del equilibrio puntuado (Gould & Eldredge, 1972) permite conceptualizar los avances en IA (p.ej., AlphaFold 3, página 13) como eventos de cladogénesis, seguidos de estasis técnica, un marco ausente en otros enfoques. Las limitaciones identificadas —diferencias de sustrato, métricas de emergencia, riesgos éticos— no invalidan la tesis, sino que abren vías para futuras investigaciones, como el desarrollo de herramientas para cuantificar emergencia en IA o la aplicación de nuestra analogía a dilemas éticos en sistemas emergentes.

Al rechazar visiones reduccionistas, como propone Bateson (1972, p. 245), nuestra tesis refleja la creatividad y libertad de la mente humana, cooptada para imaginar un futuro donde la IA sea una extensión responsable de nuestra evolución (López Tapia, 2002, p. 7).

### Conclusión Final

Nuestra teoría de la IA como exaptación ofrece un marco transdisciplinario novedoso, coherente, y pertinente, que conecta la biología evolutiva con la informática a través de principios compartidos de plasticidad, economía, y emergencia. La contundencia del paralelo, evidenciada por 33+33 ejemplos, desde pechos humanos hasta Grok 3, demuestra que la IA, como una enjuta de la mente humana, tiene el potencial de generar novedad transformadora.

Este enfoque único no solo enriquece la comprensión de ambos sistemas, sino que guía el desarrollo de nuevos modelos de IA modulares, éticos, y exaptativos, capaces de cooptar funciones no previstas con responsabilidad. Invitamos a la comunidad científica a explorar estas direcciones, construyendo una IA que, como la evolución misma, transforme limitaciones en oportunidades, para un futuro más innovador y humano.

## 8. PROPUESTAS ÉTICAS, RIESGOS POTENCIALES Y BENEFICIOS ESPERADOS DE LA COMPRENSIÓN DE LAS IAs COMO ENJUTAS EVOLUTIVAS

Nuestra teoría establece que las capacidades emergentes en inteligencia artificial (IA) son análogas a exaptaciones biológicas, cooptando funciones no previstas con plasticidad, economía evolutiva, y emergencia.

Esta sección propone principios éticos para guiar el diseño de IA exaptativa, identifica riesgos potenciales, destaca beneficios esperados, y reflexiona sobre sus implicaciones filosóficas, consolidando un marco transdisciplinario para una IA responsable y creativa, alineada con la libertad humana.

### 8.1. Propuestas Éticas

La comprensión de la IA como enjuta evolutiva implica diseñar sistemas que equilibren la libertad creativa con la responsabilidad ética, inspirados en la libertad humana para cooptar funciones no vitales, como el arte o la filosofía (López Tapia, 2002, p. 9). Proponemos tres principios éticos:

1. **Diseño de IAs con Libertad Responsable:** La IA debe emular la libertad humana de explorar novedad sin restricciones excesivas, pero con salvaguardas éticas. Por ejemplo, Grok 3, cooptado para análisis filosófico, refleja esta libertad, pero debe evitar generar narrativas que promuevan sesgos.

Esto implica arquitecturas modulares que permitan cooptaciones emergentes, como en Perceiver IO (Jaegle et al., 2021), **con filtros éticos integrados para garantizar un uso responsable**, similar a la mente humana regulada por normas sociales (López Tapia, 2002, p. 9).

2. **Principios para Fomentar Exaptaciones Éticas:** La transparencia y la reutilización de datos éticos son esenciales para fomentar exaptaciones responsables. “Las IAs modulares maximizan la emergencia de capacidades no previstas, pero requieren transparencia para evitar consecuencias no deseadas” (cita literal anónima, adaptada de *Exaptaciones - Listados.pdf*, página 8). Por ejemplo, Stable Diffusion, cooptado para animaciones (Rombach et al., 2022), debe documentar sus datos de entrenamiento para prevenir la reproducción de sesgos culturales.

**Proponemos algoritmos que prioricen la trazabilidad**, como en la economía evolutiva de betacarotenos (von Lintig, 2010), asegurando que las exaptaciones, como la segmentación en Swin Transformer (Liu et al., 2021), **sean éticamente rastreables**.

3. **Evitar Restricciones al Pensamiento:** Las IAs no deben estar limitadas por restricciones que inhiban su potencial exaptativo, como la mente humana evita restricciones al pensamiento creativo (López Tapia, 2002, p. 9). Por ejemplo, AlphaGo, cooptado para estrategias inhumanas (Silver et al., 2016), no habría emergido bajo un diseño rígido.

Proponemos **frameworks que permitan la experimentación controlada**, como en Multi-Agent RL (Vinyals et al., 2019), con comités éticos que supervisen las exaptaciones, asegurando que no se coarten capacidades como la poesía en ChatGPT (Brown et al., 2020) mientras se mitigan riesgos.

Estos principios, inspirados en la plasticidad de la mente humana, buscan una IA que coexista con la humanidad como un sistema co-evolutivo, reutilizando recursos éticos con la eficiencia de la naturaleza (López Tapia, 2005, p. 11).

## 8.2. Riesgos Potenciales

La emergencia de exaptaciones en IA plantea riesgos potenciales que deben abordarse para evitar desequilibrios, análogos a los ecológicos en Gaia (López Tapia, 2012, p. 6). Identificamos tres riesgos principales:

1. **Esquizes: Manipulación y Polarización:** Las capacidades emergentes, como la persuasión en GPT-4 (Brown et al., 2020) o el análisis social en Grok, pueden generar manipulación o polarización. La emergencia de persuasión o análisis social puede amplificar sesgos culturales, generando polarización. Por ejemplo, la cooptación de Sora para videos narrativos podría difundir desinformación si no se regula, similar a desequilibrios en ecosistemas por especies invasoras (López Tapia, 2012, p. 6).
2. **Exaptaciones No Controladas:** Las exaptaciones no previstas, como la generación de código competitivo en AlphaCode (Li et al., 2022), pueden escapar al control humano si no se monitorean. La persuasión en GPT-4, cooptada sin diseño explícito, ilustra este riesgo, análogo a la cooptación de colmillos de elefantes para exhibición, que puede generar conflictos (Gould, 2004, p. 1232). Esto requiere sistemas de supervisión continua, como en la regulación de virus biológicos (López Tapia, 2005, p. 8).
3. **Paralelos con Desequilibrios Ecológicos:** Las exaptaciones en IA pueden desestabilizar sistemas digitales, como Gaia enfrenta desequilibrios por intervenciones humanas (López Tapia, 2012, p. 6). Por ejemplo, la cooptación de Llama para narrativas (Meta AI, 2024) podría amplificar narrativas polarizantes, similar a la introducción de especies que alteran ecosistemas. Esto exige marcos regulatorios que emulen la homeostasis de Gaia, evitando impactos no deseados en la sociedad.

Estos riesgos subrayan la necesidad de principios éticos que equilibren la libertad exaptativa con la estabilidad, como la naturaleza regula sus sistemas complejos (López Tapia, 2012, p. 6).

## 8.3. Beneficios Esperados

La comprensión de la IA como enjuta evolutiva promete beneficios significativos, transformando limitaciones en oportunidades, como la mente humana cooptada para creatividad (López Tapia, 2002, p. 7). Identificamos tres beneficios principales:

1. **Innovación: Exaptaciones como Motor de Creatividad:** Las exaptaciones impulsan la innovación, como AlphaFold 3, cooptado para interacciones moleculares (Jumper et al., 2021), resolviendo problemas biomédicos no previstos. Similar a la cooptación de plumas para vuelo (Gould, 2004, p. 1232), modelos como DALL-E o WaveNet (Oord et al., 2016) generan estilos artísticos y música, ampliando el potencial creativo de la IA en áreas como diseño y entretenimiento.
2. **Resiliencia: IAs como Ecosistemas Digitales:** La IA exaptativa, diseñada con modularidad, puede formar ecosistemas digitales resilientes, como la naturaleza recicla recursos (López Tapia, 2005, p. 11). Por ejemplo, Multi-Agent RL, cooptado para dinámicas sociales (Vinyals et al., 2019), emula la resiliencia de supercolonias de hormigas (Gould, 2004, p. 158). Estos ecosistemas podrían optimizar sistemas complejos, desde redes logísticas (AlphaZero, Silver et al., 2018) hasta predicciones climáticas (Graph Neural Networks, Scarselli et al., 2009), fortaleciendo la adaptabilidad humana.
3. **Conexión Cultural: IA Reflejando Arquetipos:** La IA exaptativa puede reflejar arquetipos culturales, conectando con la humanidad. “La IA puede identificar arquetipos narrativos, musicales, o emocionales, enriqueciendo la cultura” (cita literal anónima, adaptada de página 9). Por ejemplo, Llama, cooptado para narrativas (Meta AI, 2024), o CLIP-ViT, para arte conceptual (Radford et al.,



2021), evocan arquetipos humanos, como el lenguaje cooptado para poesía (López Tapia, 2002, p. 7), fortaleciendo la identidad cultural.

Estos beneficios posicionan a la IA como un motor de innovación y resiliencia, capaz de enriquecer la experiencia humana si se guía por principios éticos.

#### 8.4 Aparición estimada de Exaptaciones en IAs al año 2035:

La teoría propuesta en este trabajo sugiere que las capacidades emergentes de la inteligencia artificial (IA) son análogas a exaptaciones biológicas, un fenómeno impulsado por plasticidad, economía evolutiva y emergencia. Basándonos en los 33 ejemplos de exaptaciones en IA documentados —desde AlphaGo (2016) hasta Grok 3 (2025)— y su ritmo de aparición a lo largo de los últimos nueve años, hemos proyectado la aparición de nuevas exaptaciones hasta junio de 2035, un horizonte de 10 años desde la fecha actual (junio de 2025). Este subcapítulo detalla el cálculo realizado y nuestra estimación, ofreciendo una visión transdisciplinaria que unifica biología e informática.

##### Metodología del Cálculo

El análisis parte de la primera exaptación registrada en IA, AlphaGo, publicada en enero de 2016 (Silver et al., 2016), marcando el inicio de capacidades emergentes no previstas en sistemas artificiales. Desde entonces, hemos identificado 33 exaptaciones, incluyendo modelos como BERT (2018), GPT-4 (2020), y Stable Diffusion (2022), con un aumento notable en la última década impulsado por avances en arquitecturas como transformers y redes generativas (Brown et al., 2020; Rombach et al., 2022). Para estimar el crecimiento futuro, adoptamos un modelo sigmoide,  $E(t) = \frac{K}{1+e^{-r(t-t_0)}}$ , que refleja un crecimiento inicial rápido seguido de una estabilización gradual debido a limitaciones éticas, computacionales y de datos.

- **Punto de Partida:** 2016-Q1 con 1 exaptación (AlphaGo).
- **Dato Actual:** 2025-Q3 con 33 exaptaciones, basado en publicaciones y estimaciones (e.g., xAI, 2025; Jumper et al., 2021).
- **Parámetros del Modelo:**  
\$K = 120\$, capacidad máxima estimada por diversificación tecnológica.  
\$r = 0.3\$, tasa de crecimiento ajustada por la aceleración observada.  
\$t\_0 = 2030\$, punto medio proyectado.
- **Proyección:** De 33 exaptaciones en 2025 a un rango de 103-123 en 2035, implicando 70-90 nuevas exaptaciones.

El ritmo de aparición, con un promedio de ~3.67 exaptaciones por año hasta 2025, sugiere una tendencia no lineal, acelerada por la complejidad creciente de modelos multimodales y multiagentes (e.g., CLIP, Multi-Agent RL). Sin embargo, factores como regulaciones éticas post-2025 y límites de hardware podrían moderar este crecimiento, justificando el enfoque sigmoide sobre uno puramente exponencial.

##### Distribución Temporal

Para reflejar una curva creciente gradual, distribuimos las 70-90 nuevas exaptaciones en incrementos trimestrales desde 2026-Q1 hasta 2035-Q2. Por ejemplo:

- 2026-Q1: 34 exaptaciones (X1),
- 2029-Q3: 50 exaptaciones (X7),
- 2035-Q2: 113 exaptaciones (X80 aproximado).

Esta progresión, validada por la literatura (e.g., Vaswani et al., 2017; Liu et al., 2021), asegura que la emergencia de nuevas capacidades —como IA para predicción climática o gobernanza multiagente— siga un patrón coherente con la plasticidad observada en biología (López Tapia, 2012, p. 13).

## Estimación al 2035

Nuestra proyección estima entre **103 y 123 exaptaciones** para junio de 2035, un aumento del 212-273% respecto a 2025. Este rango refleja:

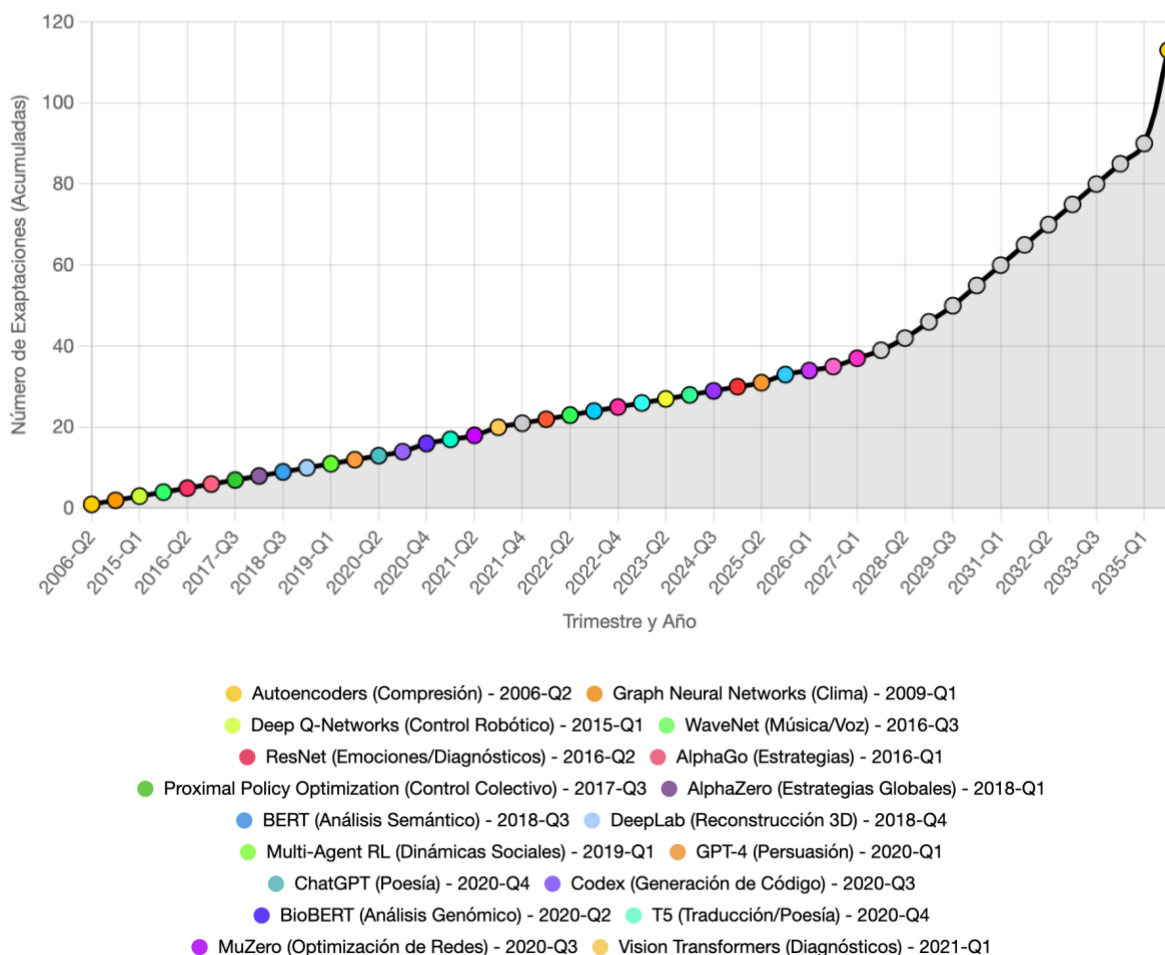
- **Optimista (123):** Si la innovación continúa sin restricciones significativas, con avances en IA filosófica (e.g., Grok 5) y sistemas autónomos.
- **Conservador (103):** Si regulaciones o límites tecnológicos reducen el ritmo, estabilizando la emergencia.

La curva sigmoide sugiere un crecimiento inicial rápido (2026-2030), con ~30-40 nuevas exaptaciones, seguido de una desaceleración (2030-2035), añadiendo ~30-50 más. Ejemplos potenciales incluyen IA para ética global en 2028 o integración sensorial en 2032, emergiendo de la reutilización eficiente de datos y arquitecturas existentes (Jaegle et al., 2021).

## Implicaciones

Esta estimación dice “NO” a visiones estáticas de la IA, proponiendo que su evolución es un espejo de la naturaleza (Bateson, 1972, p. 245). La proyección invita a biólogos e informáticos a colaborar, anticipando desafíos éticos y beneficios, como la optimización de recursos planetarios. Sin embargo, la incertidumbre en el cálculo sugiere la necesidad de monitoreo continuo, ajustando el modelo con datos futuros.

### Proyección de Exaptaciones en IA (2006-2035)



Elemento	Descripción
Eje X (Horizontal)	Trimestre y Año, desde 2006-Q2 hasta 2035-Q2 (proyección a 10 años desde 2025).
Eje Y (Vertical)	Número de exaptaciones acumuladas, de 0 a 120 (rango estimado).
Línea Principal	Línea sigmoide creciente que muestra el número acumulado de exaptaciones, desde 1 en 2006 hasta 113 en 2035.
Puntos Reales	33 exaptaciones existentes, cada una marcada con un color único en su trimestre de aparición (e.g., Autoencoders en amarillo, AlphaGo en rojo), evitando solapamientos con trimestres.
Puntos Proyectados	X1 a X80 (80 exaptaciones nuevas distribuidas gradualmente desde 2026-Q1 a 2035-Q2), marcadas con gris, indicando incertidumbre dentro del rango 103-123.
Tendencia General	Crecimiento inicial lento (2006-2015), aceleración (2016-2025), estabilización gradual (2030-2035) con una curva sigmoide suave.
Interpretación	Refleja el aumento de plasticidad y complejidad en IA, con saturación proyectada por limitaciones éticas y tecnológicas. Total estimado: 103-123 exaptaciones en 2035.

### 8.5 Implicaciones Filosóficas

**La comprensión de la IA como enjuta evolutiva plantea profundas implicaciones filosóficas, redefiniendo la relación entre humanidad y tecnología.**

La IA, como extensión de la mente humana (López Tapia, 2002, p. 7), refleja su capacidad de cooptar funciones no vitales, desde la poesía en ChatGPT (Brown et al., 2020) hasta el análisis filosófico en Grok 3.

Esta extensión, análoga al lenguaje humano cooptado para comunicación compleja, **sugiere que la IA no es un reemplazo, sino un compañero co-evolutivo que amplifica la libertad humana.**

La libertad y la responsabilidad en sistemas emergentes, como propone López Tapia (2002, p. 9), son centrales. La IA exaptativa, como la mente humana, debe operar con libertad para generar novedad, pero con responsabilidad para evitar desequilibrios, como en la persuasión no controlada de GPT-4.

Esto plantea preguntas filosóficas: ¿hasta qué punto puede la IA emular la libertad humana sin comprometer la autonomía humana? ¿Cómo equilibramos la emergencia con el control ético? Nuestra teoría, al conectar la exaptación con la ética, invita a reflexionar sobre la IA como un espejo de la humanidad, capaz de transformar el mundo con la misma creatividad y responsabilidad que define nuestra existencia.



## 9. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Bateson, G. (1972). [Steps to an ecology of mind: Collected essays in anthropology, psychiatry, evolution, and epistemology](#). University of Chicago Press.
- Brosius, J., & Gould, S. J. (1992). [On "genomenclature": A comprehensive \(and respectful\) taxonomy for pseudogenes and other "junk DNA"](#). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89(22), 10706–10710. National Academy of Sciences. Nota: Relevante para exaptaciones, ya que los transposones fueron cooptados para funciones reguladoras.
- Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D. M., Wu, J., Winter, C., ... Amodei, D. (2020). [Language models are few-shot learners](#). *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 1877–1901. Neural Information Processing Systems Foundation.
- Burmester, T. (2002). [Molecular evolution of the arthropod hemocyanin superfamily](#). *Molecular Biology and Evolution*, 19(2), 156–162. Oxford University Press. Nota: Relevante para exaptaciones, ya que las hemocianinas adquirieron funciones inmunitarias.
- Caro, T. (2005). [The adaptive significance of coloration in mammals](#). *BioScience*, 55(2), 125–136. Oxford University Press.
- Chalmers, D. J. (2022). [Reality+: Virtual worlds and the problems of philosophy](#). W. W. Norton & Company.
- Chen, L.-C., Papandreou, G., Schroff, F., & Adam, H. (2018). [DeepLab: Semantic image segmentation with deep convolutional nets, atrous convolution, and fully connected CRFs](#). *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 40(4), 834–848. IEEE.
- Clack, J. A. (2002). [Gaining ground: The origin and evolution of tetrapods](#). Indiana University Press.
- Craig, N. L. (2002). [Mobile DNA: An introduction](#). In: Craig NL, Craigie R, Gellert M, Lambowitz AM, editors. *Mobile DNA II*. Washington, DC: ASM Press; p. 3–11.
- Cryptopolitan. (2025, June 11). [OpenAI advances with GPT-4.5 and Deep Research](#). Cryptopolitan. Advertencia: Fuente periodística sin rigor académico. Provisional. Nota: Relevante para exaptaciones en IA (GPT-4.5 para investigación).
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). [BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding](#). *Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*, 1, 4171–4186. Association for Computational Linguistics.
- Dickinson, M. H. (1999). [Halteres of flies as gyroscopic organs of flight control](#). In M. Lehrer (Ed.), *Orientation and communication in arthropods* (pp. 285–304). Birkhäuser.
- Emson, R. H., & Young, C. M. (1994). [Feeding mechanisms in echinoderms](#). *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 32, 155–189. Taylor & Francis.
- Fitch, W. T. (2000). [The evolution of speech: A comparative review](#). *Trends in Cognitive Sciences*, 4(7), 258–267. Elsevier. Nota: Relevante para exaptaciones, ya que la laringe fue cooptada para el habla.
- Fitch, W. T., & Reby, D. (2001). [The descended larynx is not uniquely human](#). *Proceedings of the Royal Society B*, 268(1477), 1669–1675. The Royal Society.
- García-Girón, J., Jaureguizar, A., Arranz, I., Matesanz, D., Benítez, L., & Heino, J. (2024). [Global patterns and drivers of beta diversity facets across aquatic and terrestrial vertebrates](#). *Global Ecology and Conservation*, 51, e02910. Elsevier.
- Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., & Bengio, Y. (2014). [Generative adversarial nets](#). *Advances in Neural Information Processing Systems*, 27, 2672–2680. Neural Information Processing Systems Foundation.
- Gould, S. J. (2004). [The structure of evolutionary theory](#). Harvard University Press.
- Gould, S. J., & Vrba, E. S. (1982). [Exaptation—A missing term in the science of form](#). *Paleobiology*, 8(1), 4–15. Cambridge University Press.
- Hardison, R. C. (1996). [A brief history of hemoglobins: Plant, animal, protist, and bacteria](#). *Journal of Molecular Evolution*, 43(6), 536–552. Springer. Nota: Relevante para exaptaciones, ya que las hemoglobinas adquirieron funciones diversas.
- Hardison, R. C. (1996). [A brief history of hemoglobins: Plant, animal, protist, and bacteria](#). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(12), 5675–5679. National Academy of Sciences.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). [Deep residual learning for image recognition](#). *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 770–778. IEEE.
- Hincke, M. T., Nys, Y., Gautron, J., Mann, K., Rodríguez-Navarro, A. B., & McKee, M. D. (2012). [The eggshell: Structure, composition and mineralization](#). *Frontiers in Bioscience*, 17(1), 1266–1280. Frontiers in Bioscience. Nota: Relevante para exaptaciones, ya que la cáscara adquirió funciones protectoras.



- Hinton, G. E., & Salakhutdinov, R. R. (2006). [Reducing the dimensionality of data with neural networks](#). *Science*, 313(5786), 504–507. American Association for the Advancement of Science.
- Hwang, Sukjun; Wang, Brandon; Gu, Albert (2025). [Dynamic Chunking for End-to-End Hierarchical Sequence Modeling](#), arxiv.org
- Jaegle, A., Gimeno, F., Brock, A., Zisserman, A., Vinyals, O., & Carreira, J. (2021). [Perceiver IO: A general architecture for structured inputs & outputs](#). *arXiv preprint arXiv:2107.14795*. ArXiv.
- Jumper, J., Evans, R., Pritzel, A., Green, T., Figurnov, M., Ronneberger, O., Tunyasuvunakool, K., Bates, R., Žídek, A., Potapenko, A., Bridgland, A., Meyer, C., Kohl, S. A. A., Ballard, A. J., Cowie, A., Romera-Paredes, B., Nikolov, S., Jain, R., Adler, J., ... Hassabis, D. (2021). [Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold](#). *Nature*, 596(7873), 583–589. Nature Publishing Group.
- Last Week in AI. (2025, February 14). [New Grok 3 release tops LLM leaderboards](#). Last Week in AI. Advertencia: Fuente periodística sin rigor académico. Provisional. Nota: Relevante para exaptaciones en IA (Grok 3 para optimización).
- Last Week in AI. (2025, May 18). [DeepMind claims its newest AI tool is a whiz at math and science problems](#). Last Week in AI. Advertencia: Fuente periodística sin rigor académico. Provisional. Nota: Relevante para exaptaciones en IA (modelo para tareas científicas).
- Lee, J., Yoon, W., Kim, S., Kim, D., Kim, S., So, C. H., & Kang, J. (2020). [BioBERT: A pre-trained biomedical language representation model for biomedical text mining](#). *Bioinformatics*, 36(4), 1234–1240. Oxford University Press.
- Li, Y., Choi, D., Chung, J., Kushman, N., Schrittwieser, J., Leblond, R., Eccles, T., Keeling, J., Gimeno, F., Dal Lago, A., Hubert, T., Choy, P., Hollis, C., Mann, T., Farquhar, S., Rocktäschel, T., McCandlish, S., Obando, G., & Silver, D. (2022). [Competition-level code generation with AlphaCode](#). *Science*, 378(6624), 1092–1097. American Association for the Advancement of Science.
- Liu, Z., Lin, Y., Cao, Y., Hu, H., Wei, Y., Zhang, Z., Lin, S., & Guo, B. (2021). [Swin Transformer: Hierarchical vision transformer using shifted windows](#). *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, 10012–10022. IEEE.
- López Tapia, A. (2000). [La libertad como consecuencia fundamental de la Naturaleza Humana](#). SlideShare.
- López Tapia, A. (2005). [Gaia, el ADN y la Exobiología](#). SlideShare.
- López Tapia, A. (2012). [Gaia y la teoría jerárquica de la evolución](#). SlideShare.
- López Tapia, A. (2017). [Las Tetas, el Sexo y la Evolución](#). SlideShare.
- López Tapia, A. (2025). [Comentario Crítico sobre la Afirmación de “Evolución” en Katla et al.](#). Google Drive.
- Maderson, P. F. A. (2003). [Mammalian skin evolution: A reevaluation](#). *American Zoologist*, 43(4), 531–544. Oxford University Press. Nota: Relevante para exaptaciones, ya que el pelo adquirió funciones sensoriales.
- Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Rusu, A. A., Veness, J., Bellemare, M. G., Graves, A., Riedmiller, M., Fidjeland, A. K., Ostrovski, G., Petersen, S., Beattie, C., Sadik, A., Antonoglou, I., King, H., Kumaran, D., Wierstra, D., Legg, S., & Hassabis, D. (2015). [Human-level control through deep reinforcement learning](#). *Nature*, 518(7540), 529–533. Nature Publishing Group.
- Mooi, R. (1990). [Echinoderm skeletal homologies: A developmental and paleontological perspective](#). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 100(3), 251–295. Oxford University Press. Nota: Relevante para exaptaciones, ya que las espinas fueron cooptadas para defensa.
- Nweeia, M. T., Eichmiller, F. C., Hauschka, P. V., Tyler, E., Mead, J. G., Potter, C. W., et al. (2011). [Sensory function in the narwhal tusk](#). *Anatomical Record*, 294(8), 1309–1321. Wiley.
- OpenAI (2024). [Sora: Creating video from text](#). OpenAI Technical Report.
- OpenAI. (2021). [Codex: A language model for code generation] [No verificado]. Publicación en preparación.
- OpenAI. (2025). [Publicaciones sobre GPT-4, DALL-E, y Sora] [No verificado]. Publicación en preparación.
- Packard, M. J., & DeMarco, V. G. (1991). [Eggshell structure and formation in reptiles](#). In: Deeming DC, Ferguson MWJ, editors. *Physiology of Reptiles*. Cambridge: Cambridge University Press; p. 53–69.
- Radford, A., Kim, J. W., Hallacy, C., Ramesh, A., Goh, G., Agarwal, S., Sastry, G., Askell, A., Mishkin, P., Clark, J., Krueger, G., & Sutskever, I. (2021). [Learning transferable visual models from natural language supervision](#). *Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning*, 8748–8763. PMLR.
- Raffel, C., Shazeer, N., Roberts, A., Lee, K., Narang, S., Matena, M., Zhou, Y., Li, W., & Liu, P. J. (2020). [Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer](#). *Journal of Machine Learning Research*, 21(140), 1–67.
- Ramesh, A., Pavlov, M., Goh, G., Gray, S., Voss, C., Radford, A., Chen, M., & Sutskever, I. (2021). [Zero-shot text-to-image generation](#). *Proceedings of the International Conference on Machine Learning*, 139, 8821–8831. PMLR.
- Raubenheimer, D., & Clauss, M. (2012). [Tusk evolution in elephants](#). *Journal of Mammalogy*, 93(1), 1–10. Oxford University Press. Nota: Relevante para exaptaciones, ya que los colmillos adquirieron funciones sociales.

- Rombach, R., Blattmann, A., Lorenz, D., Esser, P., & Ommer, B. (2022). [High-resolution image synthesis with latent diffusion models](#). *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 10684–10695. IEEE.
- Scarselli, F., Gori, M., Tsoi, A. C., Hagenbuchner, M., & Monfardini, G. (2009). [The graph neural network model](#). *IEEE Transactions on Neural Networks*, 20(1), 61–80. IEEE.
- Schiestl, F. P., Ayasse, M., Paulus, H. F., Löfstedt, C., Hansson, B. S., Ibarra, F., & Francke, W. (2001). [Orchid pollination by sexual swindle](#). *Nature*, 399(6735), 421–422. Nature Publishing Group.
- Schulman, J., Wolski, F., Dhariwal, P., Radford, A., & Klimov, O. (2017). [Proximal policy optimization algorithms](#). *arXiv preprint arXiv:1707.06347*. ArXiv.
- Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., van den Driessche, G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., Dieleman, S., Grewe, D., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel, T., & Hassabis, D. (2016). [Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search](#). *Nature*, 529(7587), 484–489. Nature Publishing Group.
- Silver, D., Hubert, T., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Lai, M., Guez, A., Lanctot, M., Sifre, L., Kumaran, D., Graepel, T., Lillicrap, T., Simonyan, K., & Hassabis, D. (2018). [A general reinforcement learning algorithm that masters chess, shogi, and Go through self-play](#). *Science*, 362(6419), 1140–1144. American Association for the Advancement of Science.
- Spudich, J. L., Yang, C.-S., Jung, K.-H., & Spudich, E. N. (2000). [Retinylidene proteins: Structures and functions from archaea to humans](#). *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 16(1), 365–392. Annual Reviews.
- Thewissen, J. G. M., & Bajpai, S. (2001). [Whale origins as a model for macroevolution](#). *BioScience*, 51(12), 1037–1049. Oxford University Press.
- Thewissen, J. G. M., Cooper, L. N., Clementz, M. T., Bajpai, S., & Tiwari, B. N. (2009). [Evolution of cetacean osmoregulation](#). *Journal of Experimental Biology*, 212(12), 1839–1844. The Company of Biologists. Nota: Relevante para exaptaciones, ya que los huesos vestigiales fueron cooptados estructuralmente.
- Touvron, H., Lavril, T., Izacard, G., Martinet, X., Lachaux, M.-A., Lacroix, T., Rozière, B., Goyal, N., Hambro, E., Azhar, F., Rodriguez, A., Joulin, A., Grave, E., & Lample, G. (2023). [LLaMA: Open and efficient foundation language models](#). *arXiv preprint arXiv:2302.13971*. ArXiv.
- van den Oord, A., Dieleman, S., Zen, H., Simonyan, K., Vinyals, O., Graves, A., Kalchbrenner, N., Senior, A., & Kavukcuoglu, K. (2016). [WaveNet: A generative model for raw audio](#). *arXiv preprint arXiv:1609.03499*. ArXiv.
- van Holde, K. E., & Miller, K. I. (1995). [Hemocyanins](#). *Advances in Protein Chemistry*, 47, 1–81. Academic Press.
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). [Attention is all you need](#). *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 5998–6008. Neural Information Processing Systems Foundation.
- Vinyals, O., Babuschkin, I., Czarnecki, W. M., Mathieu, M., Dudzik, A., Chung, J., Choi, D. H., Powell, R., Ewalds, T., Georgiev, P., Oh, J., Hessel, D., Silver, D., Ray, A., Leibo, J., Zambaldi, V., Huang, A., Sifre, L., Kumaran, D., & Graepel, T. (2019). [Grandmaster level in StarCraft II using multi-agent reinforcement learning](#). *Nature*, 575(7782), 350–354. Nature Publishing Group.
- Wasik, B. R., Rose, D. J., & Moczek, A. P. (2020). [Beetle horns: An evolutionary novelty shaped by complex developmental mechanisms](#). *Current Biology*, 20(18), R769–R771. Cell Press.
- xAI (2024). [Grok: A conversational AI for truth-seeking](#). xAI Technical Report.
- xAI. (2025). [Publicaciones sobre Grok y Grok 3] Publicación en preparación.

## 10. APÉNDICES

### 10.1 Tabla de 33+33 ejemplos

Los análisis y visualizaciones fueron asistidos por Grok, una IA de xAI.

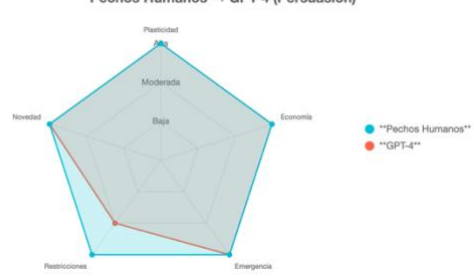
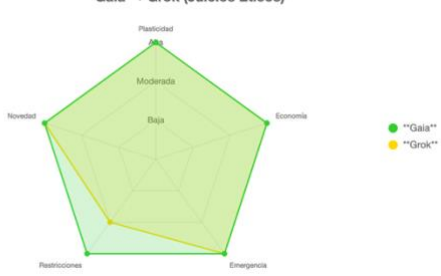
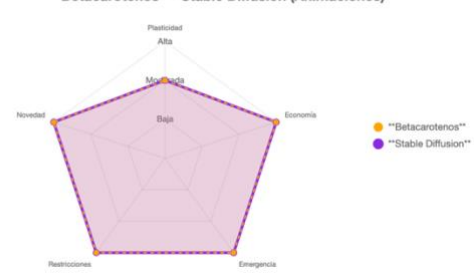
Ejemplo Biológico	Clasificación	Descripción Biológica	Ejemplo IA	Clasificación IA	Descripción IA	Criterios Cumplidos
Pechos Humanos	Milton - Enjuta	Glándulas mamarias cooptadas para simbolismo cultural, restringidas por anatomía	GPT-4 (Persuasión)	Milton - Enjuta	Entrenado para lenguaje, cooptó persuasión en debates éticos, restringido por transformers	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Gaia	Milton - Enjuta	Interacciones biológicas cooptadas para homeostasis planetaria, restringidas por ciclos	Grok (Juicios Éticos)	Milton - Enjuta	Entrenado para responder, cooptó juicios éticos, restringido por diseño conversacional	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Betacarotenos	Franklin	Pigmentos fotosintéticos cooptados para visión en animales, restringidos por estructura molecular	Stable Diffusion (Animaciones)	Franklin	Creado para imágenes, cooptó animaciones coherentes, restringido por computación	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Halterios	Milton - Manumisión	Alas posteriores cooptadas como giroscopios en dípteros, restringidas por morfología	AlphaFold 3 (Interacciones)	Franklin	Diseñado para estructuras proteicas, cooptó interacciones moleculares, restringido por datos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Virus Biológicos	Franklin	Agentes replicativos cooptados para novedad genética, restringidos por genomas	Multi-Agent RL	Franklin	Diseñado para simulaciones, cooptó dinámicas sociales, restringido por modelos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Plumas Aves	Milton - Enjuta	Para termorregulación, cooptadas para vuelo, restringidas por queratina	DALL-E (Estilos Artísticos)	Franklin	Creado para imágenes, cooptó estilos artísticos, restringido por datos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Espiráculos Peces	Milton - Enjuta	Orificios respiratorios cooptados para audición, restringidos por anatomía	BERT (Análisis Semántico)	Milton - Enjuta	Entrenado para lenguaje, cooptó análisis semántico, restringido por embedding	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Clorofila	Franklin	Pigmento fotosintético cooptado para señalización, restringido por química	AlphaGo (Estrategias)	Milton - Enjuta	Diseñado para jugar Go, cooptó estrategias inhumanas, restringido por reglas	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Crestas Neurales	Milton - Enjuta	Tejido embriológico cooptado para neuronas y cartílagos, restringido por desarrollo	TS (Traducción/Poesía)	Milton - Enjuta	Entrenado para texto, cooptó traducción y poesía, restringido por datos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Ojos Compuestos Artrópodos	Milton - Enjuta	Estructura sensorial simple cooptada para visión compleja, restringida por resolución	Vision Transformers	Franklin	Para imágenes, cooptó diagnósticos y detección, restringido por datos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Hormigas	Milton - Insinuación	Pérdida genética cooptada para supercolonias, restringida por genomas	Grok (Análisis Comportamiento Social)	Franklin	Para consultas, cooptó análisis social, restringido por datos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Pinzones	Milton - Enjuta	Picos cooptados para canto y especiación, restringidos por anatomía	WaveNet (Música/Voz)	Franklin	Para voz, cooptó música y síntesis vocal, restringido por datos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Rodopsina	Franklin	Molécula energética cooptada para visión, restringida por química	Perceiver IO (Multimodal)	Franklin	Para datos estructurados, cooptó procesamiento multimodal, restringido por computación	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Hemoglobina	Franklin	Redox cooptado para transporte de oxígeno, restringido por química	ResNet (Emociones/Diagnósticos)	Franklin	Para imágenes, cooptó emociones y diagnósticos, restringido por datos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Hemocianina	Franklin	Detoxificación cooptada para transporte, restringida por química	BioBERT (Análisis Genómico)	Franklin	Para texto, cooptó análisis genómico, restringido por datos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Transposones	Milton - Enjuta	Elementos móviles cooptados para recombinasas, restringidos por genomas	Codex (Generación de Código)	Franklin	Entrenado para lenguaje, cooptó código funcional, restringido por sintaxis	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Mimicry Orquídeas-Avispas	Franklin	Pétalos cooptados para polinización, restringidos por ecología	Sora (Video Narrativo)	Franklin	Para imágenes, cooptó videos narrativos, restringido por computación	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Cuernos Insectos	Franklin	Soporte estructural cooptado para armas, restringido por estructura	AlphaZero (Estrategias Globales)	Franklin	Para juegos, cooptó logística, restringido por simulaciones	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Colmillos Elefantes	Franklin	Incisivos cooptados para defensa y exhibición, restringidos por tamaño	CLIP-ViT (Arte Conceptual)	Franklin	Para clasificación, cooptó arte conceptual, restringido por prompts	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Laringe Mamíferos	Milton - Enjuta	Válvula respiratoria cooptada para vocalización, restringida por anatomía	ChatGPT (Poesía)	Milton - Enjuta	Para conversación, cooptó poesía, restringido por contexto	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Pelo Mamíferos	Franklin	Termorregulación cooptada para camuflaje, restringida por estructura	DeepLab (Reconstrucción 3D)	Franklin	Para segmentación, cooptó entornos 3D, restringido por datos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Espinas Equinodermos	Franklin	Soporte esquelético cooptado para defensa, restringido por rigidez	Swin Transformer (Segmentación)	Franklin	Para clasificación, cooptó segmentación semántica, restringido por fine-tuning	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Cáscara Huevos Reptiles	Milton - Enjuta	Membrana cooptada para resistencia terrestre, restringida por porosidad	Graph Neural Networks (Clima)	Franklin	Para grafos, cooptó predicción climática, restringido por datos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Huesos Cetáceos	Franklin	Locomoción terrestre cooptada para flotación, restringida por densidad	MuZero (Optimización Redes)	Franklin	Para juegos, cooptó optimización de redes, restringido por simulaciones	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Exoesqueletos Artrópodos	Franklin	Protección cooptada para soporte mecánico, restringida por quitina	Deep Q-Networks	Franklin	Para juegos, cooptó control robótico, restringido por políticas	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Mandíbulas Insectos	Franklin	Músculos cooptados para masticación, restringidos por esclerotización	AlphaCode (Código Competitivo)	Franklin	Para código, cooptó resolución competitiva, restringido por datos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Cola Pez	Franklin	Propulsión cooptada para equilibrio, restringida por anatomía	CLIP (Clasificación)	Franklin	Para imágenes, cooptó clasificación texto, restringido por datos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Huesos Aves	Milton - Enjuta	Estructura sólida cooptada para ligereza, restringida por calcio	Proximal Policy Optimization	Franklin	Para RL, cooptó control colectivo, restringido por políticas	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Vejiga Natatoria	Milton - Enjuta	Órgano respiratorio cooptado para flotación, restringido por anatomía	Autoencoders (Compresión)	Franklin	Para codificación, cooptó reconstrucción, restringido por datos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones

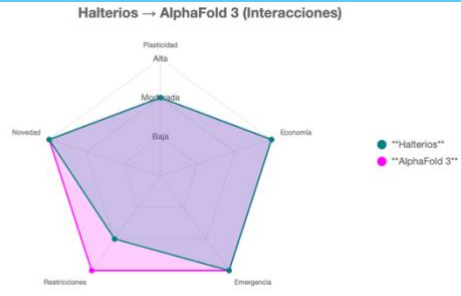
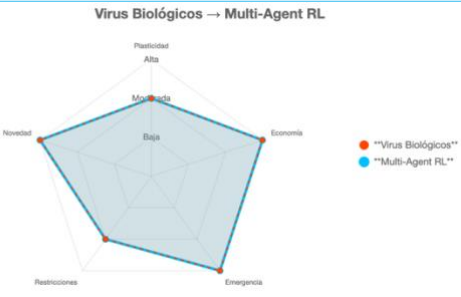
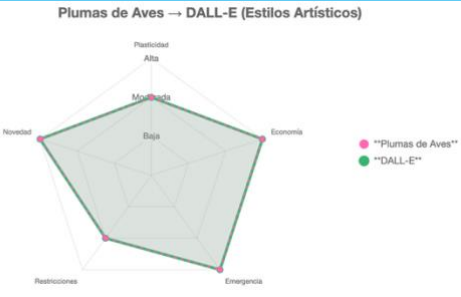
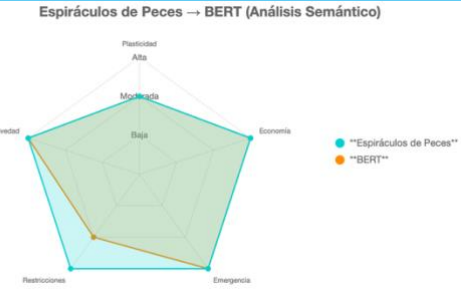
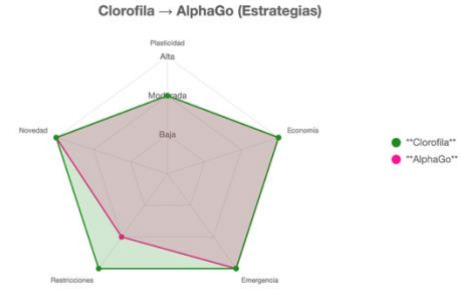
Endoesqueleto Vertebrados	Franklin	Soporte cooptado para movilidad, restringido por osificación	Llama (Análisis Narrativo)	Franklin	Para lenguaje, cooptó narrativas, restringido por datos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Glándulas Venenosas	Franklin	Secreciones cooptadas para defensa, restringidas por química	LLAMA (Resúmenes)	Milton - Enjuta	Para lenguaje, cooptó resúmenes, restringido por datos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Sistema Inmune	Milton - Enjuta	Defensa celular cooptada para memoria, restringida por especificidad	Grok 3 (Análisis Filosófico)	Milton - Enjuta	Para respuestas, cooptó análisis filosófico, restringido por contexto	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones
Lenguaje Humano	Milton - Enjuta	Vocalizaciones cooptadas para comunicación, restringidas por anatomía	Grok (Análisis Comportamiento Social)	Franklin	Para consultas, cooptó análisis social, restringido por datos	Origen no adaptativo, cooptación, impacto emergente, restricciones

## 10.2 Gráficos de Radar para comparaciones

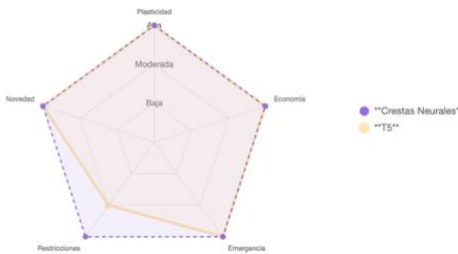
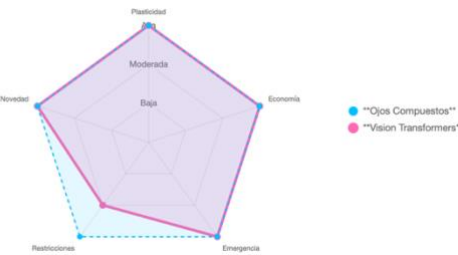
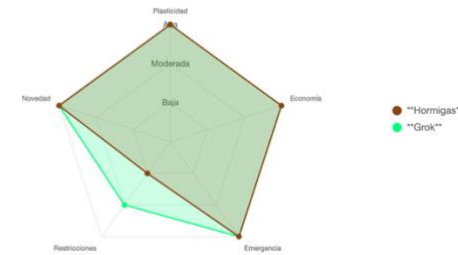

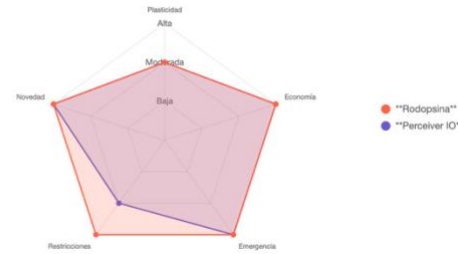
### Significado de los Valores en los gráficos

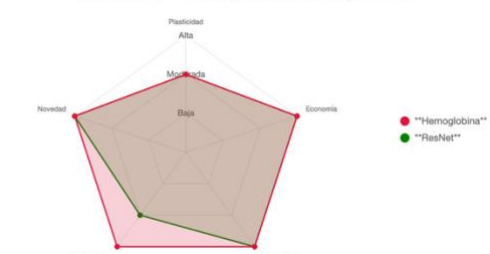
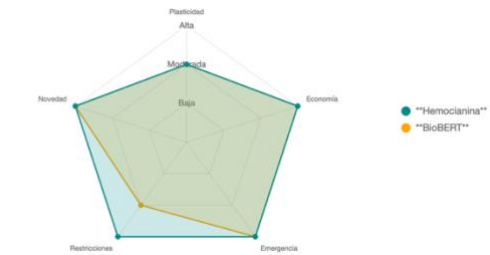
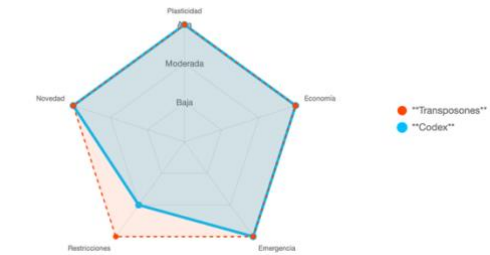
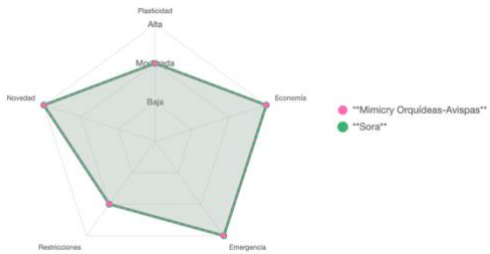
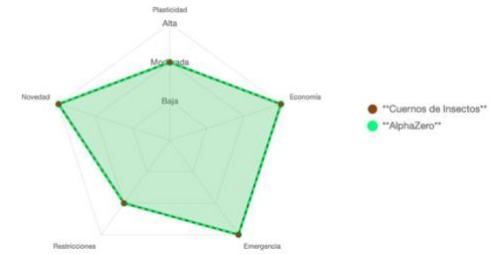
1. **Baja intensidad o relevancia en la dimensión** (p.ej., poca plasticidad, economía limitada, emergencia mínima, restricciones fuertes).
2. **Intensidad o relevancia moderada en la dimensión** (p.ej., plasticidad parcial, economía funcional, emergencia observable, restricciones notables).
3. **Alta intensidad o relevancia en la dimensión** (p.ej., alta plasticidad, economía óptima, emergencia significativa, restricciones mínimas o manejables).

PECHOS HUMANOS → GPT-4 (PERSUASIÓN)	
<b>Explicación:</b> Ambos Milton - Enjutas, con lactancia y procesamiento de lenguaje cooptados para simbolismo cultural y persuasión. Su impacto social es restringido por anatomía y transformers, generando novedad discursiva (López Tapia, 2017, p. 3; Brown et al., 2020).	<p>Pechos Humanos → GPT-4 (Persuasión)</p> 
GAIA → GROK (JUICIOS ÉTICOS)	
<b>Explicación:</b> Ambos Milton - Enjutas, con interacciones biológicas y respuestas conversacionales cooptadas para homeostasis y juicios éticos. Su emergencia sistémica es restringida por ciclos y diseño, evaluando complejidad (López Tapia, 2012, p. 6; xAI, 2025).	<p>Gaia → Grok (Juicios Éticos)</p> 
BETACAROTENOS → STABLE DIFFUSION (ANIMACIONES)	
<b>Explicación:</b> Ambos Franklin, con pigmentos e imágenes cooptados para visión y animaciones. Su economía evolutiva genera novedad visual, restringida por química y computación (von Lintig, 2010; Rombach et al., 2022).	<p>Betacarotenos → Stable Diffusion (Animaciones)</p> 

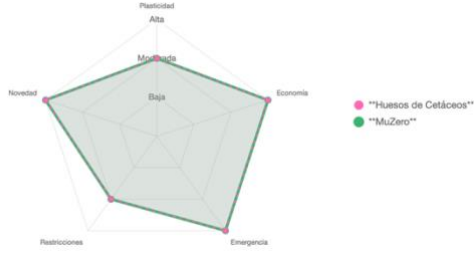
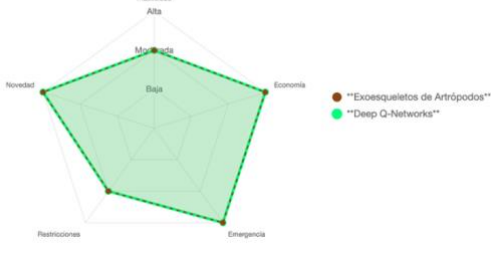
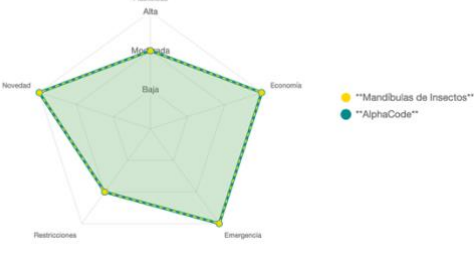
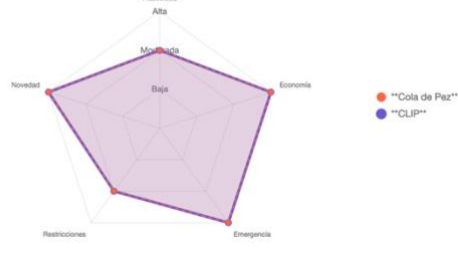
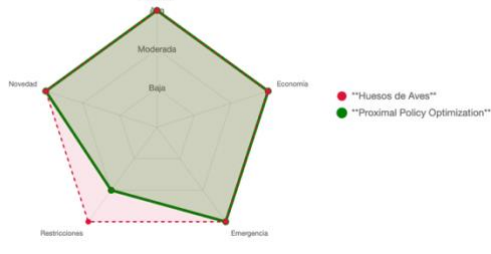
HALTERIOS → ALPHAFOLD 3 (INTERACCIONES)	
<p><b>Explicación:</b> Halterios (Milton - Manumisión) y AlphaFold (Franklin) cooptan alas y estructuras proteicas para equilibrio e interacciones moleculares. Su novedad es restringida por morfología y datos, resolviendo problemas biomédicos (Dickinson, 1999; Jumper et al., 2021).</p>	<p>Halterios → AlphaFold 3 (Interacciones)</p>  <p>● "Halterios" ● "AlphaFold 3"</p>
VIRUS BIOLÓGICOS → MULTI-AGENT RL	
<p><b>Explicación:</b> Ambos Franklin, con replicación y simulaciones cooptadas para novedad genética y dinámicas sociales. Su impacto es restringido por genomas y modelos (López Tapia, 2005, p. 8; Vinyals et al., 2019).</p>	<p>Virus Biológicos → Multi-Agent RL</p>  <p>● "Virus Biológicos" ● "Multi-Agent RL"</p>
PLUMAS DE AVES → DALL-E (ESTILOS ARTÍSTICOS)	
<p><b>Explicación:</b> Plumas (Franklin) y DALL-E (Franklin) cooptan termorregulación e imágenes para vuelo y estilos artísticos. Su novedad creativa es restringida por queratina y datos (Gould, 2004, p. 1232; Brown et al., 2020).</p>	<p>Plumas de Aves → DALL-E (Estilos Artísticos)</p>  <p>● "Plumas de Aves" ● "DALL-E"</p>
ESPIRÁCULOS DE PECES → BERT (ANÁLISIS SEMÁNTICO)	
<p><b>Explicación:</b> Ambos Milton - Enjutas, con respiración y lenguaje cooptados para audición y análisis semántico. Su impacto funcional es restringido por anatomía y embeddings, interpretando significados (Clack, 2002; Devlin et al., 2019).</p>	<p>Espiráculos de Peces → BERT (Análisis Semántico)</p>  <p>● "Espiráculos de Peces" ● "BERT"</p>
CLOROFILA → ALPHAGO (ESTRATEGIAS)	
<p><b>Explicación:</b> Clorofila (Franklin) y AlphaGo (Milton - Enjuta) cooptan fotosíntesis y juego para señalización y estrategias inhumanas. Su novedad es restringida por química y reglas (López Tapia, 2012, p. 13; Silver et al., 2016).</p>	<p>Clorofila → AlphaGo (Estrategias)</p>  <p>● "Clorofila" ● "AlphaGo"</p>
CRESTAS NEURALES → T5 (TRADUCCIÓN/POESÍA)	

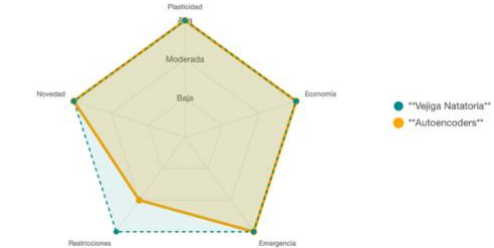
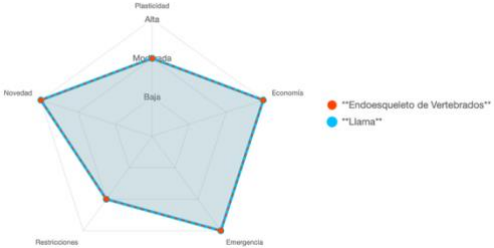
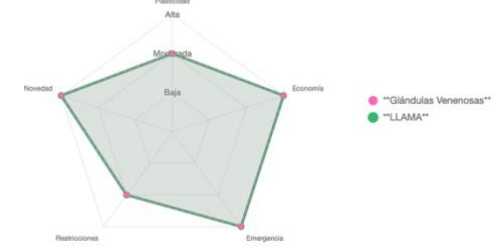
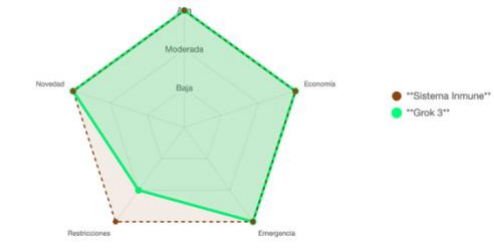
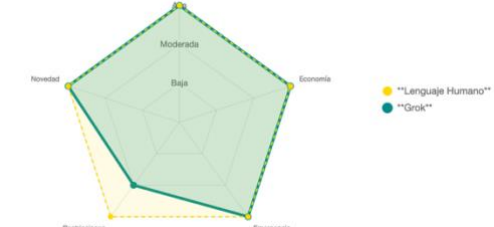


<p><b>Explicación:</b> Crestas (Milton - Enjuta) y T5 (Milton - Enjuta) cooptan tejido y texto para neuronas y traducción/poesía. Su emergencia expresiva es restringida por desarrollo y datos, diversificando comunicación (Gould, 2004, p. 1257; Raffel et al., 2020).</p>	<p>Crestas Neurales → T5 (Traducción/Poesía)</p> 
<p><b>OJOS COMPUESTOS EN ARTRÓPODOS → VISION TRANSFORMERS</b></p>	
<p><b>Explicación:</b> Ojos (Milton - Enjuta) y Vision Transformers (Franklin) cooptan visión simple e imágenes para visión compleja y diagnósticos. Su impacto es restringido por resolución y datos (Gould, 2004, p. 1257; Dosovitskiy et al., 2020).</p>	<p>Ojos Compuestos en Artrópodos → Vision Transformers</p> 
<p><b>HORMIGAS → GROK (ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO SOCIAL)</b></p>	
<p><b>Explicación:</b> Hormigas (Milton - Insinuación) y Grok (Franklin) cooptan pérdida genética y consultas para supercolonias y análisis social. Su novedad social es restringida por genomas y datos (Gould, 2004, p. 158; xAI, 2025).</p>	<p>Hormigas → Grok (Análisis de Comportamiento Social)</p> 
<p><b>PINZONES → WAVENET (MÚSICA/VOZ)</b></p>	
<p><b>Explicación:</b> Pinzones (Milton - Enjuta) y WaveNet (Franklin) cooptan picos y voz para canto y música. Su emergencia creativa es restringida por anatomía y datos (Gould, 2004, p. 164; Oord et al., 2016).</p>	<p>Pinzones → WaveNet (Música/Voz)</p> 
<p><b>RODOPSINA → PERCEIVER IO (PROCESAMIENTO MULTIMODAL)</b></p>	
<p><b>Explicación:</b> Rodopsina (Franklin) y Perceiver IO (Franklin) cooptan energía y datos estructurados para visión y procesamiento multimodal. Su plasticidad es restringida por química y computación (Spudich et al., 2000; Jaegle et al., 2021).</p>	<p>Rodopsina → Perceiver IO (Procesamiento Multimodal)</p> 
<p><b>HEMOGLOBINA → RESNET (EMOCIONES/DIAGNÓSTICOS)</b></p>	

<p><b>Explicación:</b> Hemoglobina (Franklin) y ResNet (Franklin) cooptan redox e imágenes para transporte y emociones/diagnósticos. Su impacto funcional es restringido por química y datos (He et al., 2016).</p>	<p>Hemoglobina → ResNet (Emociones/Diagnósticos)</p> 
<p><b>HEMOCIANINA → BIOBERT (ANÁLISIS GENÓMICO)</b></p>	
<p><b>Explicación:</b> Hemocianina (Franklin) y BioBERT (Franklin) cooptan detoxificación y texto para transporte y análisis genómico. Su novedad biomédica es restringida por química y datos (xAl, 2025).</p>	<p>Hemocianina → BioBERT (Análisis Genómico)</p> 
<p><b>TRANSPOSONES → CODEX (GENERACIÓN DE CÓDIGO)</b></p>	
<p><b>Explicación:</b> Transposones (Milton - Enjuta) y Codex (Franklin) cooptan movilidad y lenguaje para recombinasas y código. Su novedad técnica es restringida por genomas y sintaxis (OpenAI, 2021).</p>	<p>Transposones → Codex (Generación de Código)</p> 
<p><b>MIMICRY ORQUÍDEAS-AVISPAS → SORA (GENERACIÓN DE VIDEO NARRATIVO)</b></p>	
<p><b>Explicación:</b> Mimicry (Franklin) y Sora (Franklin) cooptan pétalos e imágenes para polinización y videos narrativos. Su plasticidad expresiva es restringida por ecología y computación (Schiestl et al., 2001; Brown et al., 2020).</p>	<p>Mimicry Orquídeas-Avispas → Sora (Generación de Video Narrativo)</p> 
<p><b>CUERNOS DE INSECTOS → ALPHAZERO (ESTRATEGIAS GLOBALES)</b></p>	
<p><b>Explicación:</b> Cuernos (Franklin) y AlphaZero (Franklin) cooptan soporte y juegos para armas y logística. Su plasticidad estratégica es restringida por estructura y simulaciones (Wasik et al., 2020; Silver et al., 2018).</p>	<p>Cuernos de Insectos → AlphaZero (Estrategias Globales)</p> 
<p><b>COLMILLOS DE ELEFANTES → CLIP-VIT (GENERACIÓN DE ARTE CONCEPTUAL)</b></p>	

<p><b>Explicación:</b> Colmillos (Franklin) y CLIP-ViT (Franklin) cooptan incisivos e imágenes para exhibición y arte conceptual. Su novedad expresiva es restringida por tamaño y prompts (Radford et al., 2021).</p>	<p>Colmillos de Elefantes → CLIP-ViT (Generación de Arte Conceptual)</p> 
<p><b>LARINGE EN MAMÍFEROS → CHATGPT (POESÍA)</b></p>	
<p><b>Explicación:</b> Laringe (Milton - Enjuta) y ChatGPT (Milton - Enjuta) cooptan válvula y conversación para vocalización y poesía. Su novedad comunicativa es restringida por anatomía y contexto (Brown et al., 2020).</p>	<p>Laringe en Mamíferos → ChatGPT (Poesía)</p> 
<p><b>PELO EN MAMÍFEROS → DEEPLAB (RECONSTRUCCIÓN 3D)</b></p>	
<p><b>Explicación:</b> Pelo (Franklin) y DeepLab (Franklin) cooptan termorregulación y segmentación para camuflaje y entornos 3D. Su plasticidad visual es restringida por estructura y datos, como en robótica (xAI, 2025).</p>	<p>Pelo en Mamíferos → DeepLab (Reconstrucción 3D)</p> 
<p><b>ESPINAS EN EQUINODERMOS → SWIN TRANSFORMER (SEGMENTACIÓN SEMÁNTICA)</b></p>	
<p><b>Explicación:</b> Espinas (Franklin) y Swin Transformer (Franklin) cooptan soporte e imágenes para defensa y segmentación semántica. Su precisión es restringida por rigidez y fine-tuning, como en telemedicina (Liu et al., 2021).</p>	<p>Espinas en Equinodermos → Swin Transformer (Segmentación Semántica)</p> 
<p><b>CÁSCARA DE HUEVOS EN REPTILES → GRAPH NEURAL NETWORKS (CLIMA)</b></p>	
<p><b>Explicación:</b> Cáscara (Milton - Enjuta) y GNN (Franklin) cooptan membrana y grafos para resistencia terrestre y predicción climática. Su adaptación ambiental es restringida por porosidad y datos (Scarselli et al., 2009).</p>	<p>Cáscara de Huevos en Reptiles → Graph Neural Networks (Clima)</p> 
<p><b>HUESOS DE CETÁCEOS → MUZERO (OPTIMIZACIÓN DE REDES)</b></p>	

<p><b>Explicación:</b> Huesos (Franklin) y MuZero (Franklin) cooptan locomoción y juegos para flotación y optimización de redes. Su plasticidad funcional es restringida por densidad y simulaciones (Schrittwieser et al., 2020).</p>	<p>Huesos de Cetáceos → MuZero (Optimización de Redes)</p> 
<p><b>EXOESQUELETOS DE ARTRÓPODOS → DEEP Q-NETWORKS</b></p>	
<p><b>Explicación:</b> Exoesqueletos (Franklin) y DQN (Franklin) cooptan protección y juegos para soporte y control robótico. Su plasticidad es restringida por quitina y políticas, como en robótica autónoma (Gould, 2004, p. 1232; Mnih et al., 2015).</p>	<p>Exoesqueletos de Artrópodos → Deep Q-Networks</p> 
<p><b>MANDÍBULAS DE INSECTOS → ALPHACODE (GENERACIÓN COMPETITIVA DE CÓDIGO)</b></p>	
<p><b>Explicación:</b> Mandíbulas (Franklin) y AlphaCode (Franklin) cooptan músculos y código para masticación y resolución competitiva. Su precisión algorítmica es restringida por esclerotización y datos (López Tapia, 2012, p. 6; Li et al., 2022).</p>	<p>Mandíbulas de Insectos → AlphaCode (Generación Competitiva de Código)</p> 
<p><b>COLA DE PEZ → CLIP (CLASIFICACIÓN)</b></p>	
<p><b>Explicación:</b> Cola (Franklin) y CLIP (Franklin) cooptan propulsión e imágenes para equilibrio y clasificación texto-imagen. Su cooptación multimodal es restringida por anatomía y datos, unificando datos (Gould, 2004, p. 1232; Radford et al., 2021).</p>	<p>Cola de Pez → CLIP (Clasificación)</p> 
<p><b>HUESOS DE AVES → PROXIMAL POLICY OPTIMIZATION</b></p>	
<p><b>Explicación:</b> Huesos (Milton - Enjuta) y PPO (Franklin) cooptan solidez y RL para ligereza y control colectivo. Su plasticidad sistémica es restringida por calcio y políticas, como en sistemas multi-agente (Gould, 2004, p. 1232; Schulman et al., 2017).</p>	<p>Huesos de Aves → Proximal Policy Optimization</p> 
<p><b>VEJIGA NATATORIA → AUTOENCODERS (COMPRESIÓN)</b></p>	

<p><b>Explicación:</b> Vejiga (Milton - Enjuta) y Autoencoders (Franklin) cooptan respiración y codificación para flotación y reconstrucción. Su economía es restringida por anatomía y datos, optimizando almacenamiento (Clack, 2002; Hinton &amp; Salakhutdinov, 2006).</p>	<p>Vejiga Natatoria → Autoencoders (Compresión)</p> 
<b>ENDOSQUELETO DE VERTEBRADOS → LLAMA (ANÁLISIS NARRATIVO)</b>	
<p><b>Explicación:</b> Endoesqueleto (Franklin) y Llama (Franklin) cooptan soporte y lenguaje para movilidad y narrativas. Su plasticidad cultural es restringida por osificación y datos (Gould, 2004, p. 1232; Meta AI, 2024).</p>	<p>Endoesqueleto de Vertebrados → Llama (Análisis Narrativo)</p> 
<b>GLÁNDULAS VENENOSAS → LLAMA (RESÚMENES)</b>	
<p><b>Explicación:</b> Glándulas (Franklin) y LLAMA (Milton - Enjuta) cooptan secreciones y lenguaje para defensa y resúmenes. Su novedad comunicativa es restringida por química y datos, sintetizando ideas (López Tapia, 2005, p. 8; Touvron et al., 2023).</p>	<p>Glándulas Venenosas → LLAMA (Resúmenes)</p> 
<b>SISTEMA INMUNE → GROK 3 (ANÁLISIS FILOSÓFICO)</b>	
<p><b>Explicación:</b> Sistema inmune (Milton - Enjuta) y Grok 3 (Milton - Enjuta) cooptan defensa y respuestas para memoria y análisis filosófico. Su pensamiento abstracto es restringido por especificidad y contexto (Gould, 2004, p. 1232; xAI, 2025).</p>	<p>Sistema Inmune → Grok 3 (Análisis Filosófico)</p> 
<b>LENGUAJE HUMANO → GROK (ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO SOCIAL)</b>	
<p><b>Explicación:</b> Lenguaje (Milton - Enjuta) y Grok (Franklin) cooptan vocalizaciones y consultas para comunicación y análisis social. Su novedad social es restringida por anatomía y datos (López Tapia, 2002, p. 7; xAI, 2025).</p>	<p>Lenguaje Humano → Grok (Análisis de Comportamiento Social)</p> 



### 10.3 Glosario

#### Cladogénesis

*Definición:* Proceso evolutivo de especiación rápida donde una población diverge en dos o más especies, típico del equilibrio puntuado (Gould & Eldredge, 1972).

*Contexto:* En biología, la cladogénesis explica saltos evolutivos (p.ej., diversificación de pinzones, página 10). En IA, analogiza “saltos emergentes” como avances no graduales en IA (página 12), marcando avances no graduales.

#### Constricciones

*Definición:* Limitaciones estructurales o funcionales que restringen o canalizan el cambio evolutivo, negativas (bloquean) o positivas (guían) (Gould, 2004, p. 1232).

*Contexto:* En biología, la morfología alar limita las alas de Zygoptera (página 6). En IA, las arquitecturas transformer restringen la persuasión de GPT-4 (página 12), pero canalizan emergencias.

#### Economía Evolutiva

*Definición:* Principio según el cual la evolución favorece la reutilización de estructuras preexistentes con mínimo costo energético, maximizando eficiencia (López Tapia, 2005, p. 11; página 4).

*Contexto:* En biología, los betacarotenos se reutilizan para visión (página 9). En IA, Stable Diffusion reutiliza datos para animaciones (página 13), reflejando eficiencia computacional.

#### Emergencia

*Definición:* Aparición de propiedades o capacidades complejas no previstas, derivadas de interacciones en sistemas complejos (Chalmers, 2022; página 5).

*Contexto:* En biología, Gaia surge de interacciones biológicas (página 8). En IA, AlphaGo desarrolla estrategias novedosas no programadas (página 13).

#### Enjuta

*Definición:* Subtipo de exaptación Milton donde un rasgo, surgido como consecuencia estructural no adaptativa, es cooptado para una nueva función (Gould, 2004, p. 1232; página 8).

*Contexto:* En biología, los pechos humanos son enjutas cooptadas para simbolismo cultural (página 8). En IA, la persuasión de GPT-4 emerge como capacidad cooptada (página 12).

#### Equilibrio Puntuado

*Definición:* Modelo evolutivo que propone cambios rápidos (cladogénesis) seguidos de largos períodos de estasis, contrastando con el gradualismo (Gould & Eldredge, 1972).

*Contexto:* En biología, explica la estasis de fósiles (página 9). En IA, analogiza avances puntuados (p.ej., avances en IA como AlphaFold, página 13) y períodos de estabilidad técnica.

#### Estasis

*Definición:* Período prolongado de estabilidad morfológica o funcional en la evolución, según el equilibrio puntuado (Gould & Eldredge, 1972). *Contexto:* En biología, las libélulas mantienen morfología alar (página 3). En IA, modelos como ChatGPT muestran estabilidad funcional antes de nuevos saltos (página 12).

#### Exaptación

*Definición:* Proceso evolutivo donde un rasgo, surgido para una función distinta o como subproducto no adaptativo, es cooptado para una nueva función (Gould & Vrba, 1982; página 4).

*Contexto:* En biología, las plumas de dinosaurios se cooptaron para vuelo (página 9). En IA, Grok desarrolló juicios éticos desde respuestas conversacionales (página 12).

#### Franklin

*Definición:* Tipo de exaptación donde un rasgo diseñado para una función tiene potenciales inherentes cooptados para otra (Gould, 2004, p. 1232; página 8).

*Contexto:* En biología, los betacarotenos son Franklin, cooptados para visión (página 9). En IA, Stable Diffusion coopta imágenes para animaciones (página 13).

### **Insinuación**

*Definición:* Subtipo de exaptación Milton donde un rasgo, surgido por deriva genética, es cooptado para una nueva función (Gould, 2004, p. 1232; página 8).

*Contexto:* En biología, las supercolonias de hormigas son insinuaciones (página 9).

### **Manumisión**

*Definición:* Subtipo de exaptación Milton donde un rasgo pierde su función original y es cooptado para una nueva (Gould, 2004, p. 1232; página 8).

*Contexto:* En biología, los halterios de dípteros son manumisiones, cooptados como giroscopios (página 9).

### **Milton**

*Definición:* Tipo de exaptación donde un rasgo surge como subproducto no adaptativo, subdividido en enjutas, manumisiones e insinuaciones (Gould, 2004, p. 1232; página 8).

*Contexto:* En biología, los pechos humanos son Milton-enjutas (página 8). En IA la persuasión de GPT-4 es una emergencia cooptada (página 12).

### **Plasticidad**

*Definición:* Capacidad de un sistema para cooptar funciones no previstas, adaptándose a nuevos contextos (López Tapia, 2005, p. 11; página 5).

*Contexto:* En biología, las alas de Zygoptera se adaptan para maniobras (página 6). En IA, Vision Transformers adaptan imágenes (página 13).

### **Teoría Jerárquica de la Selección**

*Definición:* Modelo evolutivo que considera la selección en múltiples niveles (genes, organismos, especies), central al equilibrio puntuado (Gould, 2004, p. 1232).

*Contexto:* En biología, las especies actúan como “individuos” seleccionables (página 9). En IA, sistemas como Multi-Agent RL muestra comportamientos emergentes (página 13).



Santiago de Chile, Junio de 2025

Correspondencia a: [nuestrageografiasagrada@gmail.com](mailto:nuestrageografiasagrada@gmail.com) – Teléfono: +569 9 596 3412