

El impacto de la IA en los procesos de descarbonización de las pymes y en organismos e instituciones implicadas en la lucha contra el cambio climático

05/05/2025

AGRADECIMIENTOS



Queremos agradecer a Francisco Rojas Luna y a Adán Piñero Alquegui, del Instituto Tecnológico de Aragón, su asesoramiento técnico durante los trabajos de concepción y creación del presente informe

EDITA: ECODES

DISEÑO GRÁFICO: ECODES

FECHA: 05/05/2025

Contenido

Resumen ejecutivo	5
Introducción	8
Objetivos	10
Desglose conceptual, marco metodológico y antecedentes	11
Definiciones de Inteligencia Artificial utilizadas	11
Inteligencia Artificial (clásica o IA)	12
Inteligencia Artificial Generativa (IAG)	13
Sistemas Multimodales	13
Robots Humanoides	13
Marco de aplicación a todo el informe	14
Contexto Macroeconómico	14
Contexto Tecnológico	15
Contexto Micro de las pymes en España	15
Breve Introducción a la Inteligencia Artificial	16
Historia y Conceptos de la IA	16
Introducción a los Modelos de Aprendizaje Automático	18
Modelos Clásicos de Aprendizaje Automático	18
Aprendizaje Profundo	21
Algoritmos Metaheurísticos	24
Estado del arte de la utilización de la IA en procesos de descarbonización de las pymes	27
Utilización de la IA en los cálculos de huella	27
Utilización de la IA Generativa (IAG) en la redacción de memorias de sostenibilidad	28
Utilización de la IAG para extracción de KPI y acciones en la documentación RSC y compliance	29
Utilización de la IA en la identificación y recomendación de medidas	31
Medidas de descarbonización en el alcance 1 (Emisiones Directas)	32
Medidas de descarbonización en el alcance 2 (Emisiones Indirectas por Energía Adquirida)	34
Medidas de descarbonización en el alcance 3 (otras Emisiones Indirectas)	36
Impacto de la IAG en los procesos de I+D+i	39
IAG en I+D	39

IA en innovación	40
Desarrollo de un meta-informe como ejemplo	41
Deepseek r1	41
ChatGpt 4.5	45
Copilot (por defecto, al alcance de cualquier trabajador pyme)	48
Gemini Advanced (Deep Research)	49
Impacto de la IA en organismos e instituciones implicadas en la lucha contra el cambio climático	53
Influencia de la disponibilidad implícita de conocimiento especializado en la toma de decisiones colaborativa de Sistemas Multiagente de IA: Un Estudio de Caso sobre Reducción de Huella de Carbono	53
Experimento 1. Descripción	54
Hipótesis implícita	56
Resultados y Conclusiones	56
Experimento 2. Información vectorizada sobre Huella de Carbono ampliada sobre el modelo	59
Hipótesis implícita	61
Resultados y Conclusiones	61
IAG como punto de inflexión en el desarrollo de robots humanoides y su huella de carbono	68
Conclusiones	70
Bibliografía	73

Resumen ejecutivo

El presente informe, con fecha de finalización 5 de mayo de 2025, aborda la **compleja y transformadora relación entre la Inteligencia Artificial (IA) y la sostenibilidad ambiental, con un enfoque particular en los procesos de descarbonización de las Pequeñas y Medianas Empresas (pymes) y el impacto de la IA en los organismos e instituciones implicados en la lucha contra el cambio climático**. Reconociendo el "fascinante claroscuro ambiental" de la IA —su considerable consumo energético en desarrollo y entrenamiento frente a su vasto potencial como herramienta para mitigar el cambio climático—, el documento propone analizar esta dualidad y trazar una hoja de ruta plausible para aprovechar sus beneficios.

El informe se estructura lógicamente, partiendo de un **desglose conceptual y marco metodológico** que establece definiciones clave (**IA clásica, IA Generativa - IAG, Sistemas Multimodales, Robots Humanoides**) y contextualiza el análisis dentro de los panoramas **macroeconómico, tecnológico y microeconómico de las pymes en España**. La metodología empleada es empírica, derivada de la experiencia profesional de los autores en el Instituto Tecnológico de Aragón (ITA), buscando **complementar la prospectiva científica con una visión de aplicabilidad tecnológica**. Se incluye una introducción a la **historia y los modelos de IA**, subrayando el punto de inflexión actual impulsado por la IAG, cuya omnipresencia se proyecta para 2025.

Los **objetivos principales** del estudio son:

1. Resaltar el **punto de inflexión** socioeconómico que representa la generalización de la IAG y tecnologías habilitadoras en un contexto de transformación geopolítica
2. **Divulgar** conceptos y modelos de IA para una comprensión crítica
3. Analizar la implicación potencial de la IA en la movilización de **acciones de descarbonización y medición de huella ambiental** en pymes
4. Reflexionar sobre el **impacto de la IA en organismos** e instituciones dedicados a combatir el cambio climático.

Y responden a **preguntas cruciales sobre la viabilidad de auditorías de descarbonización basadas en IA, el balance neto de emisiones de la IA, su efecto** en las organizaciones climáticas y su potencial para alterar las previsiones del IPCC.

Un epígrafe central del informe explora el **estado del arte de la utilización de la IA en procesos de descarbonización de las pymes**. A pesar de que la penetración actual tanto de la IA como de la medición de la huella de carbono en las pymes españolas es residual, el potencial es inmenso. La IA puede optimizar procesos operativos, desde la cadena de suministro hasta el mantenimiento predictivo, reduciendo el consumo energético y las emisiones.

Específicamente, se analiza:

- Utilización de la IA en cálculos de huella de carbono: Mejorando la precisión y eficiencia de estas mediciones.
- Uso de IAG en la redacción de memorias de sostenibilidad: Incluyendo la extracción de KPIs y acciones de documentación RSC y compliance, mejorando la transparencia y comparabilidad.
- IA en la identificación y recomendación de medidas de descarbonización: Detallando acciones específicas para:
 - **Alcance 1 (Emisiones Directas):** Transición a combustibles de bajas emisiones, eficiencia energética en instalaciones, electrificación de flotas, optimización de procesos industriales y uso de combustible, gestión de fugas de refrigerantes, autoconsumo, biocombustibles y captura de carbono.
 - **Alcance 2 (Emisiones Indirectas por Energía Adquirida):** Contratación de energía renovable (PPAs), optimización de sistemas de climatización, aislamiento térmico, iluminación LED, uso eficiente de equipos y gestión de la demanda eléctrica mediante Sistemas de Gestión de Energía (EMS).
 - **Alcance 3 (Otras Emisiones Indirectas):** Selección de proveedores sostenibles, optimización logística, reducción de emisiones en viajes de empresa y desplazamientos de trabajadores, gestión de residuos y economía circular, optimización del ciclo de vida de productos, y fomento sostenibilidad entre clientes.

El informe también investiga el **impacto de la IAG en los procesos de I+D+i**, un área familiar a los autores. Se presenta un **ejercicio práctico**: un "meta-informe" donde el índice del propio documento fue procesado por cuatro modelos fundacionales de IA (Deepseek r1, ChatGPT 4.5, Copilot, Gemini Advanced) para comparar sus capacidades de síntesis y análisis con el texto original, demostrando el potencial disruptivo de estas herramientas.

Otro aspecto crucial analizado es el **impacto de la IA en organismos e instituciones implicadas en la lucha contra el cambio climático**. Un **segundo ejercicio práctico** ilustra que la mayor reducción de huella de carbono a escala planetaria podría lograrse indirectamente si estas organizaciones consiguen **"infiltrar" la sostenibilidad en las tomas de decisión empresariales basadas en IA**, ya sea intrínsecamente en los modelos fundacionales o mediante agentes expertos. Esto exige que dichas instituciones adopten la IA en su estrategia operativa, reforzando su credibilidad y transparencia en un entorno propenso a la desinformación generativa y utilizando la IA para escalar su acción y construir visiones críticas.

Finalmente, se contempla un **escenario disruptivo futuro: la IA Generativa como punto de inflexión en el desarrollo de robots humanoides de propósito general**. Si bien prometen eficiencia, su actual menor eficiencia energética comparada con humanos para tareas similares podría, sin correcciones, incrementar la demanda energética y las emisiones asociadas, una consideración ambiental crítica si este mercado despegara aceleradamente.

Las **conclusiones** del informe responden a las preguntas planteadas:

1. Será posible desarrollar **auditorías y recomendaciones de descarbonización basadas en IA** con mínima intervención humana, utilizando dispositivos móviles capaces de recoger e interpretar información multimodal in situ, escalando a partir de auditorías iniciales y técnicas de IA para personalizar acciones.
2. Respecto al **balance de emisiones de la IA**, aunque los centros de datos consumen energía y agua significativos, la energía puede ser renovable y la huella hídrica comparativamente menor. Las reducciones de emisiones inducidas por la capacidad de recomendación de la IA podrían compensar su propio consumo, especialmente si la sostenibilidad se integra como factor clave en la optimización de estos modelos.
3. La **IA afectará a las organizaciones climáticas** de forma análoga al resto de la sociedad. Necesitarán reforzar su reputación y dotarse de herramientas IA para escalar su acción y mantener una posición nodal en un mundo con información potencialmente contaminada.
4. La irrupción de **robots humanoides**, impulsada por la IA multimodal y autónoma (a su vez catalizada por intereses económicos y militares), representa una transformación socioeconómica con implicaciones ambientales significativas si su eficiencia energética no mejora sustancialmente.

El informe subraya que, en un contexto de posible declive de la prioridad política del cambio climático, la descarbonización proactiva recaerá en quienes estén convencidos de su origen antropogénico. No obstante, la electrificación renovable (movilidad, climatización, centros de datos) es imparable por razones de coste. La "democratización" de la IA, impulsada por la competencia y estrategias gubernamentales, asegurará su crecimiento, haciendo imperativo guiar su desarrollo hacia la eficiencia y la sostenibilidad. **La IA, por tanto, emerge no solo como un desafío energético, sino como una herramienta indispensable con un potencial neto profundamente positivo para que las pymes y la sociedad avancen hacia un futuro más sostenible, siempre que la sostenibilidad ambiental se integre como un factor fundamental en sus decisiones y recomendaciones.**

Introducción

La Inteligencia Artificial (IA) se ha consolidado como una tecnología fundamental con el potencial de transformar radicalmente la forma en que operan las empresas, especialmente en lo que respecta al aumento de la productividad y la mejora de la competitividad, pero presenta un fascinante **claroscuro** ambiental. Como tecnólogos, los firmantes somos conscientes de que **su desarrollo y entrenamiento conllevan un consumo energético considerable**, todo un reto que impulsa por sí mismo la búsqueda constante de mayor eficiencia y el uso de energías limpias en nuestras infraestructuras de cálculo (1) (2). En contraposición, vemos la **oportunidad que la IA proyecta sobre la sostenibilidad global en forma de nuevas y potentes herramientas para mitigar el cambio climático**, especialmente para las pequeñas y medianas empresas (pymes). Analizar si ambas afirmaciones son correctas y situarlas en una **hoja de ruta**, plausible en el corto y medio, y probable en el largo plazo, es el **eje vertebrador del contenido del presente informe**.

Se estructura en siete epígrafes que se van introduciendo de una forma lógica, partiendo de una **base conceptual** común a todos ellos, que incluye el actual **marco sistémico** (que es el que condiciona bastantes de las ideas que se han tratado de transmitir). La **metodología** de elaboración, empírica, emana de la experiencia profesional. Es importante reseñar que el informe se concibió para **complementar a la prospectiva científica** con el punto de vista de la **aplicabilidad tecnológica**.

Para facilitar su comprensión se incluye una breve **historia de la IA** y sus modelos principales, que remarca el **punto de inflexión** que se está produciendo: **ya en 2025, la IA Generativa (IAG) va a llegar a ser omnipresente en el mundo digital y, si se integra en robótica humanoide, incluso en el mundo físico**.

Si tan grande es su impacto, **¿cómo puede transformar los actuales procesos y organizaciones implicadas en el cambio climático?** Creemos que gran parte de su **potencial verde residirá en si la IA incluye este fenómeno como un factor clave de decisión y recomendación**, idea que hemos desarrollado en el **epígrafe principal del informe, la IA convertida en una palanca clave para la reducción de la huella de carbono** en el sector empresarial. La IA general promete a las pymes eficiencia al optimizar procesos operativos, desde la gestión de la cadena de suministro hasta el mantenimiento predictivo en la manufactura. Menor consumo de energía y recursos en las operaciones diarias se traduce directamente en una disminución significativa de las emisiones: al predecir fallos en maquinaria, se evitan paradas y arranques costosos energéticamente; al optimizar rutas logísticas, se quema menos combustible. En esencia, **si la eficiencia operativa reduce el impacto ambiental, y la IA es un catalizador probado de la eficiencia, entonces la IA se posiciona como una herramienta indispensable para que las pymes avancen hacia un futuro más sostenible**. Esto produciría un balance neto profundamente positivo para el planeta. Pero, hoy en día, de igual forma que la presencia de IA en sus procesos, la penetración de la medición de la huella de carbono y de las acciones de descarbonización en la operativa de las pymes es residual en nuestro país.

¿Cuál puede ser la hoja de ruta virtuosa que utilice la IA para cambiar esta situación? Para mostrar cómo la IA está modificando aspectos claves de la operativa de las organizaciones hemos incluido un **epígrafe específico sobre la disrupción que se está produciendo en el sistema de I+D+i**, que los firmantes bien conocen. Y en este punto hemos introducido **un primer ejercicio práctico, un meta-informe del informe**, es decir, hemos

introducido el índice que hemos desarrollado en los cuatro principales modelos fundacionales de IA al alcance de todas las personas para que sus resultados puedan ser comparados entre ellos ... y con este mismo texto. Un **segundo ejercicio práctico** ilustra una de las principales **conclusiones** que se quieren transmitir: **la mayor reducción de la huella de carbono a escala planetaria se producirá de forma indirecta solo si las organizaciones e instituciones implicadas en la lucha del cambio climático consiguen que, o bien de forma intrínseca a los modelos fundacionales o bien desarrollando agentes expertos y confiables de recomendación, sean capaces de “infiltrar” las tomas de decisión empresariales basadas en IA.** Y para esto es imprescindible que estas organizaciones evolucionen adoptando la IA como parte de su estrategia operativa.

Por último, y antes de las **conclusiones y recomendaciones**, se explica un posible, pero probable para los firmantes, **escenario disruptivo de futuro**, en el que la IA Generativa se ha demostrado clave en su actual punto de inflexión: los **robots humanoides** de propósito general. Es importante trabajar en las **consideraciones medioambientales que puede suponer para el planeta si este mercado despegue de forma análoga pero mucho más acelerada al del sector del automóvil**

La fecha en la que se terminó este documento es el 5 de mayo de 2025.

Objetivos

Los firmantes del documento desempeñan desde hace años su labor como **técnicos y tecnólogos** en el **Instituto Tecnológico de Aragón (ITA)** (1). Como centro de innovación tecnológica de carácter público habitualmente estamos en contacto con un gran número de **pequeñas y medianas empresas**, nos reunimos con personal técnico de la **administración pública** que toman decisiones para el desarrollo y el bienestar de sus ciudadanos, y colaboramos con **Universidades** y otros organismos del sistema de conocimiento científico-tecnológico con los que compartimos proyectos, en ocasiones de alcance europeo. Es decir, por nuestra naturaleza de organismo de apoyo, nos encontramos en **una posición nodal** que nos permite percibir la intranquilidad en este tema de muchas de las **personas que trabajan en nuestros diferentes ecosistemas de actividad**, aquellos que la manifiestan ante el aluvión de noticias, de cursos o de herramientas que utilizan la inteligencia artificial como gancho comercial en sus mensajes. También tenemos contacto habitual con el **cuarto sector**, la economía social, especialmente tratando de aportar una visión sobre el impacto social de la tecnología. Y eso incluye a muchas de las personas que trabajan en organizaciones implicadas en el **cambio climático, la transformación digital, la economía circular, el desarrollo territorial o las comunidades energéticas**. Pensando en todas ellas es como hemos **planteado este informe**.

Y son cuatro los objetivos que perseguimos, todos ellos relacionados con el **impacto de la IA en los procesos de descarbonización de las pymes y en los organismos e instituciones implicadas en la lucha contra el cambio climático**:

1. Resaltar el **punto de inflexión** que supone en la **socioeconomía global** la generalización en el uso de la IA Generativa y de otras tecnologías en la que es habilitante y como se añaden a la vertiginosa transformación geopolítica
2. Mostar, con ánimo divulgativo, historia, conceptos y modelos de IA para su **diferenciación e interiorización crítica**
3. Analizar la posible **implicación de la IA** en la movilización de acciones de **descarbonización** y medición de su huella ambiental en las pymes
4. Reflexionar sobre el **impacto de la IA** en los organismos e **instituciones implicadas en la lucha contra el cambio climático**

Desglose conceptual, marco metodológico y antecedentes

Para mejorar la claridad y la síntesis se han obviado la explicación de los **conceptos normalmente utilizados en el ámbito de la lucha contra el cambio climático y los procesos de descarbonización en las pymes** como huella de carbono, huella hídrica, eficiencia energética, impacto ambiental, etc. Todos estos conceptos se dan por sobrentendidos por el lector.

Metodológicamente hemos querido introducir en el documento el carácter eminentemente pragmático de nuestra actividad en innovación tecnológica, normalmente transdisciplinar, y que incluye conocimiento en este ámbito. Como en otras tecnologías digitales el **grado de madurez tecnológica -TRL-** de los desarrollos en innovación del ITA es elevado (TRL 5 a 8) por lo que normalmente no iniciamos los proyectos con una metodología clásica que incluya el desarrollo pormenorizado de un estado del arte científico. Tampoco en este informe. Hemos optado por mostrar el relato causal que fundamenta nuestros **insights**, **basados principalmente en el conocimiento y la experiencia práctica adquirida en años de interacciones reales con empresas**, tanto de los firmantes, como de otras personas expertas del ITA que han hecho aportaciones al texto, y de los resultados de **dos pequeños ejercicios prácticos ad hoc**, centrados en la **utilización de la IA en procesos de descarbonización de las pymes**. Estimamos que son muy ilustrativos de su **posible e inmediato uso** (al alcance de cualquier técnico formado) y de su **influencia en las decisiones informadas**.

Por último, hemos incluido (de forma abierta y con cierto riesgo) un ejercicio de **prospectiva futura** de escenarios, que incluye una **hoja de ruta** para aprovechar la manifiesta oportunidad y minimizar los riesgos **del previsible cambio de paradigma que va a producir la IA en la creación y uso del conocimiento humano** y en todas sus tareas asociadas

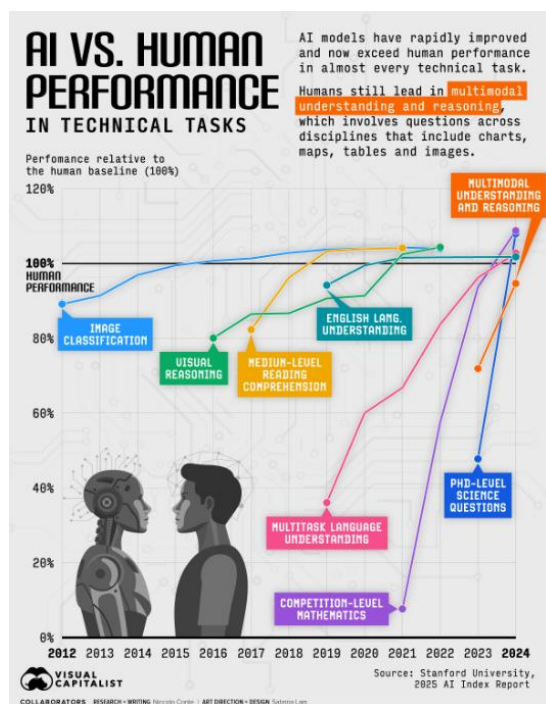
Definiciones de Inteligencia Artificial utilizadas

¿Qué es la IA? Con la última revisión de la “tecnología inteligente” y la expansión de su alcance, la connotación del concepto de IA está en constante cambio y sujeta a controversia. Dar una **definición** precisa y detallada de IA es difícil, pero podemos recoger algunas de las utilizadas por los científicos a lo largo del tiempo (2):

- La IA tiene como objetivo construir un agente inteligente superior que pueda percibir su entorno y tomar medidas para maximizar la probabilidad de lograr sus objetivos.
- La IA es un campo de la ciencia y la ingeniería que implica la comprensión computacional de lo que comúnmente se conoce como comportamiento inteligente y la creación de artefactos que exhiben tal comportamiento.
- La IA es un agente inteligente que piensa y se comporta como un humano, y la considera una máquina con la capacidad de percibir, razonar y aprender.
- La IA son tecnologías, que incluyen aprendizaje automático, aprendizaje profundo, procesamiento del lenguaje natural, robótica, etc., y puede definirse como tecnologías predictivas avanzadas.

- La IA puede lograr tareas específicas aprendiendo de manera flexible a partir de datos existentes.

Es decir, el concepto de IA ha tendido a ser cada vez más específico hasta referirse a una **serie de técnicas avanzadas de procesamiento de datos o análisis estadístico que pueden resolver problemas de una manera y con una eficiencia que se aproxima a la del cerebro humano.**



(3) (4)

En el marco actual de su desarrollo y para el presente informe introducimos los siguientes conceptos relacionados con el ánimo de facilitar su comprensión:

Inteligencia Artificial (clásica o IA)

Lo que hoy definimos como "IA Clásica" o IA en general **abarca el vasto conjunto de técnicas y modelos predominantes antes de la democratización de la IA Generativa** con la irrupción pública de herramientas como los **LLM -modelos extensos de lenguaje-** como, el más famoso, **ChatGPT** (5). Su fundamento reside en una **profunda base matemática y estadística**, utilizando algoritmos para analizar grandes volúmenes de datos, identificar patrones, realizar predicciones o automatizar decisiones. Desde sistemas de recomendación hasta modelos predictivos para la demanda energética o la optimización de rutas de distribución, su potencia parte de la **capacidad de procesar información existente** para mejorar la eficiencia. Si bien el entrenamiento y la ejecución de estos algoritmos requieren infraestructura computacional con cierto consumo energético, no es tan elevado como los modelos de IA Generativa. Este enfoque basado en datos para la optimización define la **Inteligencia artificial (clásica) -IA-**.

Inteligencia Artificial Generativa (IAG)

La conversación sobre IA dio un giro sustancial con la popularización de la "IA Generativa", un paradigma que se hizo evidente para el público general tras el lanzamiento de modelos capaces de crear contenido nuevo de manera convincente. A diferencia de la IA clásica que principalmente analiza datos para predecir o clasificar, **la generativa se enfoca en aprender la estructura y patrones subyacentes de los "lenguajes" –ya sean texto humano, código de programación, imágenes, música o incluso estructuras moleculares–** para luego generar instancias completamente nuevas. Esta **capacidad creativa** es extraordinariamente potente, permitiendo desde la redacción automática de textos coherentes hasta el diseño de prototipos o la creación de código. Sin embargo, este avance viene acompañado de un "oscuro" ambiental considerablemente mayor: el entrenamiento de los modelos fundacionales que subyacen a esta IA es enormemente intensivo en computación y energía, planteando importantes retos para la sostenibilidad de la propia tecnología. Esta capacidad de creación a partir de 'lenguajes' es la esencia de la **Inteligencia artificial generativa**.

Sistemas Multimodales

Adentrándonos en cómo la IA percibe y entiende el mundo para interactuar con él de manera más sofisticada, llegamos al concepto de "Sistemas Multimodales". A diferencia de los modelos que operan con un solo tipo de dato (solo texto, solo imágenes, solo números), **los sistemas multimodales están diseñados para procesar, integrar y razonar simultáneamente a partir de información proveniente de múltiples modalidades sensoriales o tipos de datos: vista (imágenes, video), oído (audio), tacto, texto, datos numéricos de sensores**, etc. Esta fusión de información permite a la IA desarrollar una comprensión mucho más rica y contextual del entorno y las situaciones, similar a cómo lo hacen los seres humanos. Integrar y procesar flujos de datos tan diversos y voluminosos requiere una potencia de cómputo y una complejidad algorítmica aún mayor que los LLM y elevan la demanda energética durante el entrenamiento y la operación. Los sistemas multimodales pueden habilitar una monitorización ambiental más precisa al combinar imágenes de satélite con datos de sensores terrestres y reportes textuales; mejorar la gestión energética de edificios ajustando sistemas en función de ocupación detectada visualmente, temperatura y previsiones meteorológicas; o perfeccionar la clasificación de residuos mediante la visión y el análisis de materiales. Estos son los **Sistemas Multimodales**.

Robots Humanoides

Finalmente, llevando la inteligencia artificial y la multimodalidad al plano de la interacción física en nuestro entorno, encontramos a los "Robots Humanoides". Estas **máquinas representan un esfuerzo por crear agentes físicos capaces de operar en entornos contruidos por y para humanos, utilizando herramientas e infraestructuras existentes sin necesidad de adaptaciones mayores**. Su funcionalidad depende intrínsecamente de una IA avanzada, que incluye la percepción multimodal (procesando lo que ven, oyen y sienten) y sofisticados sistemas de planificación y control motor para navegar y manipular objetos en espacios complejos. Es tal su novedad que aún **no hay datos sobre el impacto ambiental de su fabricación, que requiere materiales y procesos industriales, o del consumo energético de su operación y movimiento**. Estas máquinas, diseñadas para interactuar en nuestro mundo físico, son los **Robots humanoides**.

Marco de aplicación a todo el informe

Aunque el concepto y el ámbito de estudio de la inteligencia artificial arranca desde mediados del siglo XX y su utilización práctica acompaña a la expansión de las Tecnologías de Información y la Comunicación a lo largo de este primer cuarto del siglo XXI, la **inteligencia artificial que nos interesa** en este informe ha llegado hace relativamente poco y **es aquella directamente utilizable y alcanzable por las pymes, para sus procesos de descarbonización, y por los organismos e instituciones implicadas en la lucha contra el cambio climático**, que las ayudan en ese proceso. Este interés por una particular clase de IA coincide con la revolución que ha supuesto la irrupción en la escena pública y su “**democratización**” (por el interés de los grandes fabricantes de software con sus inversiones en centros de datos en la nube) de los **grandes modelos generativos de lenguaje**, ahora al alcance de toda la población

Contexto Macroeconómico

La economía y las empresas españolas (**las pymes** particularmente) tienen un desafío en relación con la **productividad**. En este sentido, la productividad media de las compañías españolas es un **8% inferior a la media europea**. El Banco de España ha señalado que el desarrollo tecnológico, que incluye el ámbito de **la inteligencia artificial, podría ser crucial para mejorar esta situación**. Pero para eso, los responsables de las pymes (y de los organismos intermedios de ayuda) tienen que ser conscientes y, sobre todo, tomar decisiones adecuadas en su propio contexto. Repasemos el **contexto global** actual:

En lo que llevamos recorrido de año 2025, pero podemos extenderlo desde la crisis asociada a la pandemia mundial de coronavirus o incluso al *crash* bursátil del 2008, el escenario económico y geoestratégico mundial es tremendamente volátil y va alcanzando paulatinamente **diferentes hitos de desbordamiento de las capacidades, inéditos hasta el momento**. Es evidente que la especie humana está sobrepasando los **límites biofísicos** del planeta por el éxito de la globalización en la interconexión de los diferentes sistemas. Ahora todo puede alcanzar **una dimensión mundial**: las pandemias, las crisis en los recursos, los conflictos bélicos, la desigualdad, la irrupción de extremismos políticos e incluso el terrorismo. Sin embargo, las **herramientas de gobernanza** en la práctica no han llegado a conseguir la misma dimensión y son **incapaces de sobreponerse a las diferentes pérdidas de equilibrio** (desequilibrios que fomentan incluso algunos gobiernos con el cierre de las fronteras y la **unilateralidad** en las decisiones). Los **aranceles** al comercio internacional van en **contra de la ortodoxia económica capitalista**, pero favorecen a los servicios de las grandes compañías tecnológicas y a **Wall Street**. **La unilateralidad potencia a la industria de las materias primas y la bélica**. Las **economías planificadas de los países en la órbita de China** tratan de expandir su influencia, pero también parten con **lógicas hegemónicas**. La **Unión Europea** trata de mantener, sin mucho éxito, una posición consensuada de **mayor preocupación por la salud del planeta y el bienestar del ser humano**, mientras sus **industrias farmacéuticas** trabajan **bordeando las políticas de transparencia**.

Si la **complejidad del marco** ya hace difícil tomar decisiones para los grandes bloques o para uno de sus países, como España, o para alguno de sus gobiernos regionales; si ya estamos viendo que grandes multinacionales no son capaces de mantener sus mercados, márgenes o retribuciones a sus accionistas, **¿cómo podemos esperar que una pyme, sin el acceso ni**

el talento para manejar la información necesaria, pueda ser proactiva en cualquier ámbito nuevo que no esté estrechamente relacionado con su día a día?

Si le sumamos, además, desde una **perspectiva sistémica**, las negativas consecuencias en la actividad por los **desastres** ocasionados por los, cada vez más frecuentes, **eventos climáticos extremos**. El **cambio climático** que se percibe como cercano y de sensibilización inmediata cuando te alcanza, pero **muy lejano en la praxis diaria como para tomar medidas voluntarias** que supongan un esfuerzo de cualquier tipo. Entonces **¿podrá la IA mejorar la descarbonización de las pymes?**

Contexto Tecnológico

Desde nuestra perspectiva de tecnólogos, observamos una progresiva y **compleja interconexión tecnológica**. La **acelerada sustitución de energías fósiles por renovables** responde a una estrategia de **resiliencia** ante la volatilidad geopolítica y la urgencia climática, buscando asegurar el suministro energético. Paralelamente, la **evolución de los modelos de IA**, desde servicios móviles a la investigación profunda, impulsa una **competencia feroz**. Esta competencia, sin embargo, se topa con la opacidad: la **falta de datos reales sobre el OPEX y el impacto medioambiental del entrenamiento de IA generativa en la nube** oculta costos energéticos y ambientales significativos, precisamente porque son **ventajas competitivas reservadas**. La robótica, potenciada por avances en IA que requieren cuantiosos recursos computacionales (y, por ende, energéticos), amenaza con **dislocaciones laborales a gran escala**. Además, esta demanda energética, en parte insostenible por la falta de transparencia, se cruza con la creciente sofisticación de la IA que alimenta la profunda implicación de la robótica humanoide en los mercados laborales. Así, **la transición energética, la carrera de la IA (con su costo oculto) y el auge de la robótica humanoide forman un nexo causal donde la sostenibilidad, la transparencia de datos y el futuro del trabajo están intrínsecamente ligados y en tensión**.

Contexto Micro de las pymes en España

Las pymes constituyen el pilar fundamental del tejido productivo español, operando en un marco económico y social complejo, marcado por **una significativa heterogeneidad estructural y persistentes desafíos en digitalización**. Su **capacidad** actual para incorporar herramientas de inteligencia artificial en sus actividades diarias es, en general, **incipiente y desigual**.

Según el "Barómetro de adopción de la inteligencia artificial en las pymes españolas - Edición 2024" de IndesIA (2), basado en una muestra representativa que recoge a más de **60.000 pymes españolas, el uso promedio de IA en sus procesos por parte de las pymes españolas se sitúa en el 2,13%**. Al analizar la adopción por tamaño de empresa, el estudio encontró una distribución similar, atendiendo al tamaño de la empresa, con un 2,03% en microempresas (máximo 10 trabajadores), 2,38% en pequeñas empresas (máximo 49 trabajadores) y 2,48% en empresas medianas (máximo 249 trabajadores). Factores como **el reducido tamaño medio empresarial, las limitaciones en recursos financieros y humanos destinados a innovación, y una brecha de competencias digitales preexistente actúan como barreras significativas**.

La estructura sectorial de la economía española, donde el sector servicios representa aproximadamente el 68% del PIB, seguido por la industria ($\approx 16\%$), la construcción ($\approx 5\%$) y el sector primario ($\approx 3\%$) (Fuente: Estimaciones basadas en datos del INE), condiciona diferencialmente las oportunidades y la urgencia percibida para adoptar IA. El Sector de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC) lidera con un 8,3%, seguido de cerca por el sector de Actividades Profesionales, Científicas y Técnicas, con un 3,54%. Los casos de uso más comunes identificados por el estudio fueron los relacionados con la investigación y desarrollo (39,68%), marketing y ventas (32,6%) y administración y gestión empresarial (31%). Esto indica que **las pocas pymes que están utilizando la IA principalmente lo hacen para la innovación, la captación de clientes y la mejora de sus operaciones internas.**

Aun sabiendo las diferentes características de las pymes en los diferentes sectores, es difícil no generalizar si atendemos al **incipiente grado de penetración de las herramientas de inteligencia artificial generativa -IAG-**. Desde una perspectiva de pensamiento sistémico, la influencia negativa o positiva de la IA no puede analizarse aisladamente ya que depende de un ecosistema interconectado que incluye **políticas públicas de apoyo, disponibilidad de talento especializado, infraestructura tecnológica adecuada y la propia madurez digital de clientes y proveedores.** A su vez, la falta observada de adopción temprana por parte de las pymes genera efectos directos sobre la competitividad, la productividad española y la reconfiguración del mercado laboral. En general, se observa **un ritmo similar de penetración de herramientas que en la población española**, tímido en aquellas tareas de mayor importancia para la supervivencia de la empresa y un poco mayor en áreas que impliquen la generación de contenidos para la comunicación o la innovación, lo que hace temer que **no están preparados para el impacto en nuevos modos de búsqueda, selección y consumo basados en agentes inteligentes personalizados de sus clientes o de competidores con procesos de gestión, logística y atención al cliente basados en la IA mucho más eficientes (y por lo tanto baratos) que los habitualmente empleados.**

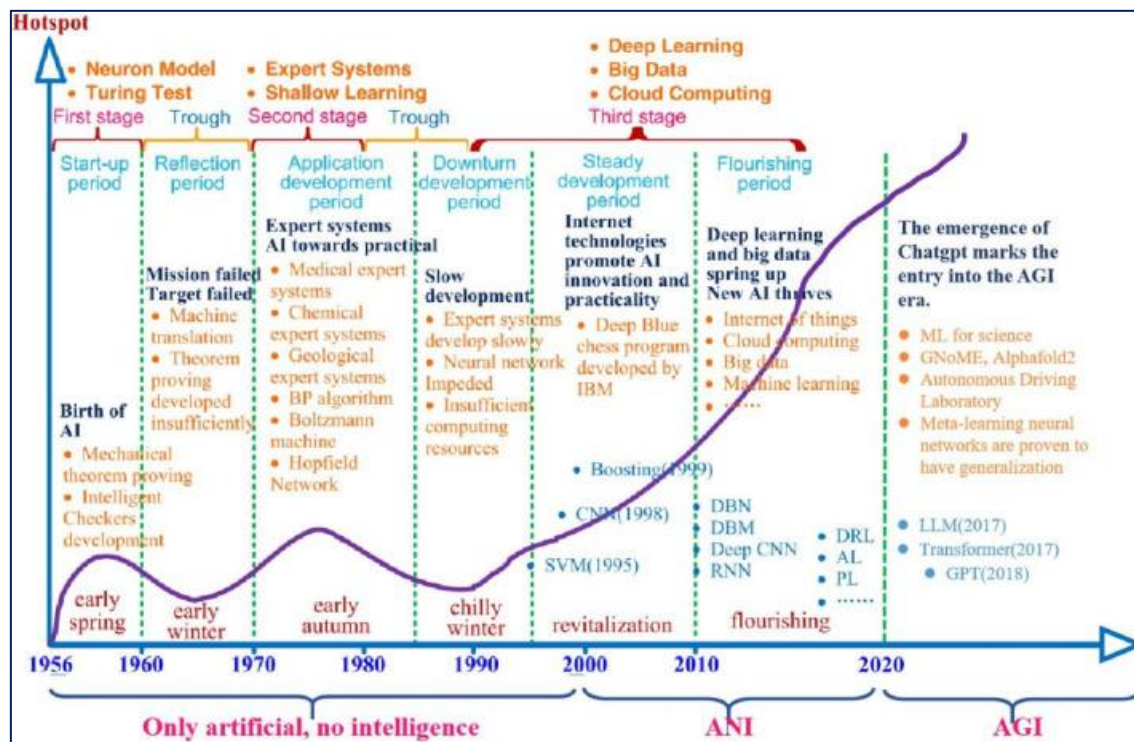
Y esto, sin hablar de la probable llegada a medio plazo de **sistemas completamente disruptivos**, como los **robots humanoides de propósito general**, con capacidades multimodales de aprendizaje y de control multimodal, con intención de sustituir por primera vez a la mano de obra para hacer generalistas de baja cualificación.

Breve Introducción a la Inteligencia Artificial

Una comprensión exhaustiva y sistemática de cómo la IA aborda los desafíos técnicos requiere algunos conocimientos básicos en IA. Por lo tanto, para los lectores ajenos a este ámbito, este epígrafe describe el **desarrollo de la IA** y sus dos ramas tecnológicas principales: el **aprendizaje automático y los algoritmos inteligentes**. Los textos e imágenes en este epígrafe han sido traducidos y sintetizados de Wang (2025) (2).

Historia y Conceptos de la IA

La IA ha pasado por un largo (y con altibajos) proceso de desarrollo antes de evolucionar desde un sueño (y un concepto) al campo práctico de aplicación de la ciencia que es en la actualidad:



Historia del desarrollo de la IA y hitos clave desde 1956 hasta 2023. Adaptado de la referencia externa

- **1956–1960:** McCarthy propuso por primera vez el concepto de inteligencia artificial en la Conferencia de Dartmouth como "la realización de máquinas que pueden usar el conocimiento para resolver problemas como los humanos". Unos años más tarde, la IA entró en una **primera etapa de desarrollo**, centrándose en la traducción automática del razonamiento lógico y la demostración de teoremas matemáticos
- **1960–1970:** Aparece el primer invierno, gradualmente se toma consciencia de que la capacidad de razonamiento lógico por sí sola no es suficiente para alcanzar el nivel de inteligencia de las máquinas
- **1970–1980:** Los sistemas expertos se convierten en la dirección más prometedora de la IA, a medida que se verifica el potencial de este sistema de toma de decisiones basado en reglas y lógica en el sistema de control de la distribución eléctrica, la IA entró en su **segundo período de auge**
- **1980–1990:** El entusiasmo por la investigación y la inversión en sistemas expertos parece haberse estancado debido a los costes de mantenimiento. La insuficiente capacidad de cálculo dificulta el funcionamiento de las redes neuronales artificiales
- **Entre 1990 y 2020:** Con el desarrollo del *big data* y la capacidad de cálculo, los algoritmos de aprendizaje automático han seguido desarrollándose. Deep Blue de IBM, derrota al campeón de ajedrez en 1998 y la IA se separa por completo de la etapa de "solo artificial, sin inteligencia" y marca el comienzo de una **prosperidad sin precedentes**. Sin embargo, los algoritmos de aprendizaje automático anteriores a 2020 todavía están estancados en una etapa de IA "débil" porque están limitados a escenarios específicos
- **Desde 2020:** Desde la aparición de ChatGPT, en su versión preliminar, se ha ampliado la perspectiva por las capacidades de comprensión, análisis y razonamiento precisos de la IA. Muchos piensan que la IA puede estar entrando en una **nueva era de inteligencia**

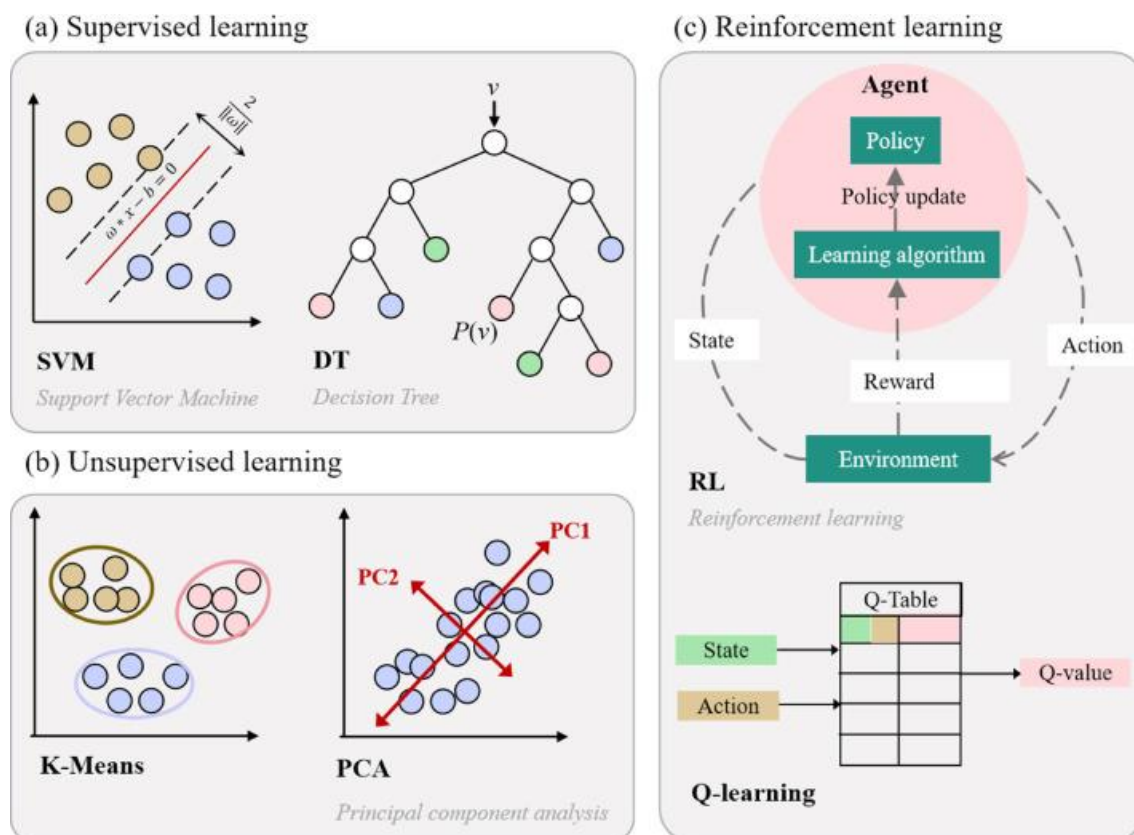
artificial general (IAG).

Introducción a los Modelos de Aprendizaje Automático

En 1952, Arthur Samuel propuso por primera vez el término "**aprendizaje automático**" y lo definió como un campo de investigación que **"permite a las computadoras aprender sin programación explícita"**. En la actualidad, el aprendizaje automático (ML) se ha convertido en la tecnología habilitadora más importante de la IA. Una explicación clásica ayuda a comprender el concepto "aprendizaje" utilizado en la expresión: *si el rendimiento de un programa de computador (medido por P) en tareas en T mejora con la experiencia E , se puede decir que aprende del conocimiento sobre una determinada clase de tareas T y la medida de rendimiento P se aprende de la experiencia E* . En otras palabras, **a través del entrenamiento repetido del modelo, ML espera que el algoritmo encuentre patrones contenidos en los datos existentes**. Según la etapa de desarrollo, la tecnología ML se puede dividir aproximadamente en **ML clásico y aprendizaje profundo (DL)**. El último modelo es más grande en términos de número de parámetros y tiene más de una capa oculta.

Modelos Clásicos de Aprendizaje Automático

Según las tareas y los objetivos, el aprendizaje automático se divide en **aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado y aprendizaje por refuerzo**. La figura inferior enumera algunos casos famosos para cada tipo de ML clásico.



(a) Supervised machine learning models including SVM and DT. (b) Unsupervised machine learning models including K-means and PCA. (c) Reinforcement learning framework and Q learning model.

(1) Aprendizaje Supervisado (SL)

El aprendizaje supervisado (SL) utiliza **un conjunto de muestras de categorías conocidas (etiquetadas) para ajustar los parámetros de un clasificador de modo que se alcance la precisión requerida**. Con más detalle: para una muestra dada o un par entrada-salida $\{(x_i, y_i)\}$ $i=1 \dots N$, el modelo establece una asignación de x a y $f(x)=y$ (para cada **entrada x** , el modelo dará una predicción de la **salida y**). La *función de pérdida* mide la desviación del valor predicho con la muestra del valor real (etiquetado). Es posible conseguir modelos y relaciones de asignación óptimos al minimizar esta función de pérdida (expectativa). Cuando **y** toma valores continuos, este problema se llama **predicción**; de lo contrario, si **y** está en un espacio discreto, surge un problema de **clasificación**.

Los **problemas de predicción** generalmente se resuelven utilizando métodos de **regresión**, (lineal o polinomial). Las **funciones de pérdida** de tales métodos de estimación generalmente incluyen el error cuadrático medio (MSE) y el error absoluto medio (MAE).

En los **problemas de clasificación**, los métodos comúnmente utilizados incluyen los **Support Vector Machine (SVM)**, el **aprendizaje por árboles de decisión (DT)**, etc. La SVM fue propuesta por Vapnik y Cortes en 1992. SVM generalmente busca un hiperplano lineal llamado límite de decisión minimizando la función de pérdida (hinge loss) para que pueda separar muestras de diferentes categorías mientras maximiza el margen tanto como sea posible. Para resolver problemas linealmente inseparables, la incorporación de métodos de *kernel* ayuda a transformar los datos de muestra en datos de mayor dimensión, lo que facilita la búsqueda de límites de decisión en el espacio de alta dimensión.

Otro método SL comúnmente utilizado se llama **aprendizaje por árboles de decisión (DT)**. Tiene una estructura de árbol donde cada nodo interno representa una prueba en un atributo, cada rama representa una salida de prueba y cada nodo hoja representa una categoría. Este método esencialmente **divide el espacio de muestra en función de reglas anidadas de múltiples capas**. Para encontrar las mejores características y umbrales de cada nodo de decisión y reducir la profundidad del árbol tanto como sea posible para evitar el sobreajuste, a menudo se utiliza la **entropía cruzada como función de pérdida**. Aunque los métodos anteriores son relativamente antiguos, siguen siendo vitales en la actualidad, siendo la interpretabilidad una de sus ventajas importantes.

(2) Aprendizaje No Supervisado (UL)

A diferencia del aprendizaje supervisado, (UL) no tiene objetivos claros ni salidas predefinidas. **Intenta aprender estructuras ocultas, regularidades o patrones en los datos a partir de muestras no etiquetadas**. En otras palabras, dada una muestra $\{z_i\}_{i=1 \dots N}$ de observaciones obtenidas del espacio Z , el objetivo de UL es esencialmente **determinar una aproximación de la distribución de muestreo P_z** . Sobre esta base, es posible el aprendizaje sobre la función de decisión utilizada para resolver problemas específicos $f_\theta(z)$. Estos problemas específicos incluyen principalmente la **agrupación y la reducción de dimensionalidad**. El objetivo del primero es **clasificar las muestras en categorías discretas**, mientras que el objetivo del segundo es **determinar un espacio de muestra de menor dimensión y su relación de asignación con el espacio original**.

La agrupación es el método UL más comúnmente utilizado y **K-means** es el método de agrupación más típico. K-means fue propuesto en 1967, pero sigue siendo popular en la actualidad. Para **k** grupos, el algoritmo ajusta continuamente la posición del centro del grupo

aleatorio hasta que se minimiza la suma de las distancias cuadradas de los puntos de muestra en cada grupo al centro del grupo.

En los problemas de reducción de dimensionalidad, los métodos clásicos incluyen el **análisis de componentes principales (PCA)**. PCA transforma los datos originales en un conjunto de representaciones linealmente independientes de cada dimensión a través de una transformación lineal, que se puede utilizar para extraer los componentes característicos principales de los datos y a menudo se utiliza para la reducción de dimensionalidad de datos de alta dimensión. PCA esencialmente toma la **dirección de máxima varianza como la característica principal** y "descorrelaciona" los datos en cada dirección ortogonal, es decir, haciéndolos no correlacionados en diferentes direcciones ortogonales. Ante datos relacionados de orden superior, también es necesario introducir *técnicas de kernel* para transformar la no linealidad en relaciones lineales.

(3) Aprendizaje por Refuerzo

La tercera categoría de técnicas de aprendizaje automático es el **aprendizaje por refuerzo (RL)**. A diferencia de otros modelos de ML, RL no se implementa minimizando la función de pérdida, sino **maximizando la ganancia o recompensa (esperada) de acuerdo con el principio de optimalidad de Bellman**. Específicamente, para un conjunto de trayectorias del sistema, se expresa como $\{(x_{t+1}, d_{t+1}, r_{t+1}; x_t+1, \dots, d_t+h-1, r_t+h-1; x_t+h, r_t+h)\}_{i=1}^N$, donde x representa el estado del sistema dinámico, d es la decisión de control aplicada y r es la señal de recompensa instantánea. El objetivo de RL es **diseñar una estrategia de decisión óptima** $d(x, t)$ para maximizar la recompensa acumulativa dentro del horizonte temporal T $R = \sum_{t=0}^{T-1} \gamma^t r_{t+1}$, donde γ es el factor de descuento. La decisión viene dada por la siguiente ecuación de Bellman :

$$Q(x, d) = E(r(x, d, w) + \gamma \max_{d'} Q(f(x, d, w), d'))$$

$$d(x, t) = \arg \max_d \{Q(x, d)\}$$

Al diseñar tales sistemas dinámicos de toma de decisiones, RL puede **ayudar a los agentes a aprender rápida y continuamente para lograr objetivos específicos durante su interacción con el entorno**.

Q-learning y SARSA (State-Action-Reward-State-Action) son dos algoritmos de aprendizaje por refuerzo comúnmente utilizados, ambos utilizados para estimar el valor de tomar una acción específica en un estado dado. Aunque son similares en muchos aspectos, la principal diferencia es la forma en que actualizan las estimaciones.

Q-learning es un algoritmo de aprendizaje que para actualizar la **función de valor** considera **la mejor acción posible en el estado actual, independientemente de la acción real tomada**. Su fórmula de actualización es:

$$Q(s, a) \leftarrow Q(s, a) + \alpha [r + \gamma \max_{a'} Q(s, a') - Q(s, a)]$$

donde $\max_{a'} Q(s, a)$ representa la acción de seleccionar el valor Q máximo en el siguiente estado s' .

SARSA y Q-learning son similares en muchos aspectos. La diferencia es que el primero pertenece al algoritmo de aprendizaje **On-Policy**, y su **fórmula de actualización contiene las acciones reales que tomará la política actual**. En términos de rendimiento, Q-learning tiende a ser un aprendizaje exploratorio y tiene una velocidad de convergencia más rápida en

algunos casos, pero es susceptible a la interferencia de ruido y causa inestabilidad; por el contrario, **SARSA es más robusto, pero puede requerir más tiempo**. Estos métodos RL se utilizan a menudo en IA de juegos, hipótesis automática, control de robots, etc.

Aprendizaje Profundo

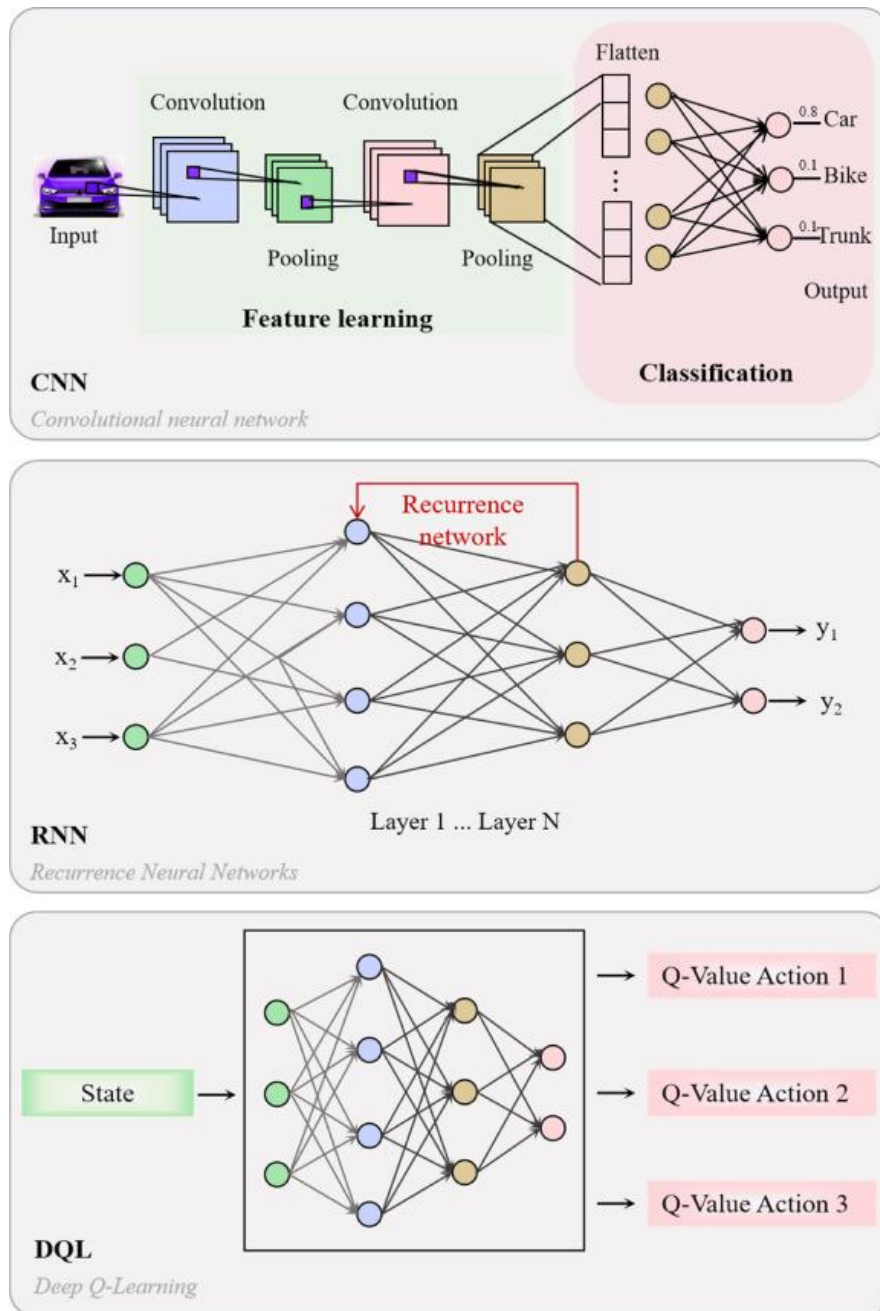
El **aprendizaje profundo (DL)** es una rama del ML que tiene más de una capa oculta. Cabe señalar que los modelos de aprendizaje profundo no son una cuarta tarea de aprendizaje automático independiente de las tareas SL, UL y RL. En cambio, DL todavía se utiliza para lograr las tareas anteriores. Sin embargo, al mejorar el modelo tradicional de aprendizaje automático de una sola capa, generalmente puede procesar directamente datos de alta dimensión y construir un modelo de extremo a extremo sin depender del conocimiento profesional para extraer características. La comparación entre ML y DL se muestra en la Tabla.

Feature	Traditional Machine Learning	Deep Learning
Model Complexity	Relatively fewer parameters, simpler models	Complex models with multiple layers many parameters
Data Handling Ability	Manual feature extraction required relies on domain knowledge	Automatic feature learning, excels with large,high-dimensional data
Application Areas	Structured data analysis such as financial forecasting, customer classification	Image recognition, natural language processing, complex decision-making systems
Learning Method	Supervised learning, unsupervised learning, reinforcement learning	Similarly applicable,but better suited for complex pattern recognition and earning directly from data
Classic Models	SVM (Support Vector Machines), Decision Trees, Linear Regression	CNN(Convolutional Neural Networks) RNN (Recurrent Neural Networks) Transformer
Interpretability	Generally high due to simpler models and fewer parameters.Decision trees for example, offer clear visualization of decision paths	Typically low because of the model's complexity and the abstract nature of the layers and connections, making them "black boxes"

Comparación entre ML y DL.

Sin conocer la historia del **aprendizaje profundo**, es casi imposible comprender la verdadera potencia de las técnicas de ML actuales. La historia de este campo comienza con el **perceptrón** de Rosenblatt en 1958, aunque el problema de la inseparabilidad lineal fue revelado por Minsky en 1969. La segunda generación de **redes neuronales** comenzó con la red de Hopfield en 1982. El **algoritmo de retropropagación** basado en el perceptrón multicapa (MLP) propuesto en 1986 **mejoró la capacidad de clasificación y aprendizaje no lineal de DL**. En 1989, se confirmó el **teorema de aproximación universal**, estableciendo el **potencial y la eficacia de DL para abordar diversos problemas complejos**. En 2006,

Hinton propuso formalmente el concepto de aprendizaje profundo y resolvió el problema de gradientes a través de un método de preentrenamiento capa por capa basado en la Red de Creencias Profundas (DBN - Deep Belief Network), marcando el comienzo de la era de la **tercera generación de redes neuronales**. El éxito de **AlexNet** basado en CNN (redes neuronales convolucionales) en la competición **ImageNet** en 2012 confirmó la potencia del aprendizaje profundo en la visión por computadora. En 2017, surgió una nueva **arquitectura de red neuronal llamada Transformer**, completamente basada en el **mecanismo de atención**, y derrotó a RNN (red neuronal recurrente). Luego comenzó a dominar varias direcciones de PNL y visión por computadora, incluida la **traducción automática, el reconocimiento de voz, la creación de texto, el reconocimiento de imágenes, el reconocimiento facial**, etc. Recientemente, combinado con el **preentrenamiento generativo (GPT)**, se han producido los **últimos modelos de lenguaje extensos (LLM)**. Se puede decir que DL se puede encontrar casi en todas partes en las aplicaciones de IA en diversos campos.



La figura presenta representaciones conceptuales de varios métodos clásicos de DL.

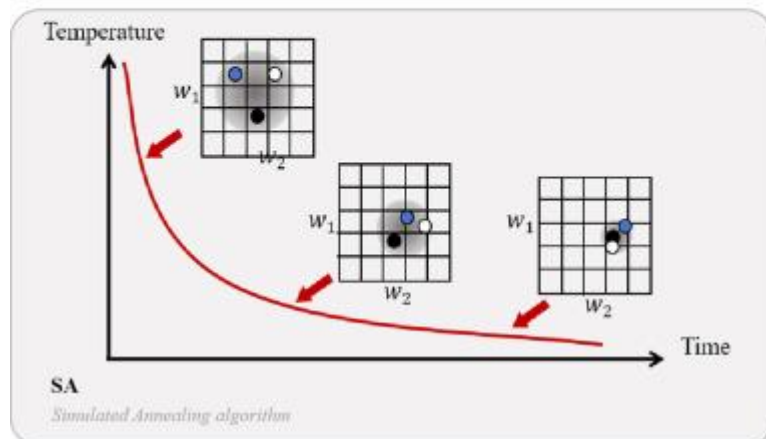
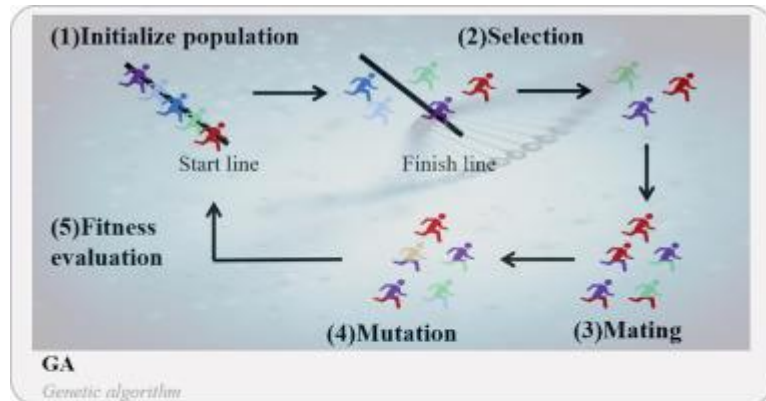
Las **redes neuronales convolucionales (CNN)** incluyen principalmente capas convolucionales, capas de agrupación (reducción de dimensionalidad y complejidad computacional) y capas totalmente conectadas (para clasificación o regresión), y son particularmente buenas en el reconocimiento de imágenes y la detección de objetos. Las capas convolucionales deslizan filtros sobre los datos de entrada para extraer características espaciales de los datos (como bordes, color y textura). Las **redes neuronales recurrentes (RNN)** son ideales para procesar datos secuenciales, como series de tiempo o texto, y son particularmente efectivas en el procesamiento del lenguaje natural. Pueden mantener un flujo continuo de información a través de conexiones recurrentes, lo que permite que la red recuerde entradas anteriores y tome decisiones basadas en esta información. Las **unidades**

recurrentes cerradas (GRU) y la memoria a corto plazo larga (LSTM) son modelos RNN comúnmente utilizados. El **aprendizaje Q profundo (DQL)** combina los principios de aprendizaje por refuerzo del aprendizaje Q tradicional y las capacidades de percepción de las redes neuronales profundas, y es **particularmente adecuado para problemas de toma de decisiones en entornos complejos**.

Algoritmos Metaheurísticos

Aunque los métodos de aprendizaje automático son muy potentes, a veces se encuentran con una serie de **problemas durante el entrenamiento**, especialmente al **determinar los gradientes**. Estos problemas son el quedarse atascado en óptimos locales, la dificultad para obtener información del gradiente, la desaparición del gradiente, y los costos computacionales excesivamente altos debido a modelos demasiado complejos. A diferencia de los métodos de planificación deterministas utilizados en el aprendizaje automático, las **metaheurísticas son una herramienta simple, escalable y de extremo a extremo que no depende de la información de la función de pérdida ni de la experiencia de expertos**.

Los **algoritmos metaheurísticos están inspirados en procesos naturales** y generalmente se pueden dividir en **métodos basados en la evolución, basados en la población y basados en la física**. La figura muestra tres algoritmos clásicos en cada una de las categorías anteriores. En los primeros años, los científicos descubrieron a partir de la biología que los mecanismos de recombinación, mutación y selección natural en la naturaleza pueden lograr eficientemente la evolución de los rasgos y funciones biológicas, y así crearon el **algoritmo genético (GA)**. El proceso de implementación de los algoritmos genéticos generalmente incluye (1) **Inicialización**: se genera aleatoriamente una población inicial, y cada individuo representa una posible solución. (2) **Evaluación y selección** de la aptitud: según métodos como la selección por torneo, los individuos con mayor aptitud (es decir, qué tan bien pueden resolver problemas) son seleccionados para la reproducción en la próxima generación. (3) **Cruce**: simula el proceso reproductivo de los organismos, y los individuos seleccionados generan nuevos individuos a través de la recombinación. (4) **Mutación**: cambia aleatoriamente ciertas partes de nuevos individuos con una cierta probabilidad para aumentar la diversidad de la población. (5) **Iteración**: repite el proceso anterior hasta que se cumpla la condición de finalización (alcanzar un número de iteraciones o por calidad).



A diferencia de las ideas basadas en la evolución, los **algoritmos basados en la población** no optimizan filtrando y reduciendo individuos; en cambio, **todos los individuos se conservan**. Tomando como ejemplo la **optimización por enjambre de partículas (PSO)**, su característica es el intercambio de información entre partículas. Específicamente, el proceso de optimización se divide en cuatro pasos: **inicialización - evaluación - actualización - iteración**. La velocidad de las partículas se actualiza de la siguiente manera:

$$v_{i+1} = w * v_i + c1 * rand() * (pbest - x_i) + c2 * rand() * (gbest - x_i)$$

donde v es la velocidad y x es la posición. El $pbest$ y el $gbest$ son las mejores posiciones buscadas por la partícula actual y todo el enjambre de partículas, respectivamente. W es el peso de inercia, $c1$ y $c2$ son factores de aprendizaje, y $rand$ es un número aleatorio generado

aleatoriamente (0, 1). **Esto permite que todo el grupo converja rápidamente hacia la solución óptima.**

Finalmente, el **algoritmo de recocido simulado (SA)** es un algoritmo de **búsqueda probabilística para resolver problemas de solución óptima local** simulando el proceso físico de **recocido de metales**. Como se muestra en la figura anterior para cada individuo, después de obtener la solución inicial, se seleccionará aleatoriamente una nueva solución en la vecindad. Si la nueva solución es mejor, se acepta; de lo contrario, solo se acepta con una cierta probabilidad, y esta **probabilidad está relacionada positivamente con la temperatura**. La **temperatura del sistema se establece para que disminuya con el tiempo**, de modo que diferentes individuos se acerquen gradualmente entre sí mientras el sistema converge a un resultado estable.

Estado del arte de la utilización de la IA en procesos de descarbonización de las pymes

Según el "*Barómetro de adopción de la inteligencia artificial en las pymes españolas de 2024*", antes citado, las tecnologías de IA más empleadas por las empresas son el *Machine Learning* para la analítica de datos (30,16%), la automatización de flujos de trabajo y toma de decisiones (21,78%) y la IA Generativa (19,73%). Veamos cuales de ellas serían adecuadas para los objetivos del informe:

Utilización de la IA en los cálculos de huella

El cálculo de la huella de carbono corporativa, siguiendo metodologías estandarizadas como el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GEI), es fundamental para la gestión ambiental y la sostenibilidad. Tradicionalmente, este proceso se apoya en herramientas específicas, como **calculadoras disponibles online o aplicaciones descargables (ofrecidas por entidades como ECODES o el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - MITECO en España)**, diseñadas para guiar al usuario.

Estas calculadoras estructuran la recopilación de datos de forma sistemática, solicitando información correspondiente a los tres alcances definidos por el protocolo: **Alcance 1 (emisiones directas de fuentes controladas por la empresa)**, **Alcance 2 (emisiones indirectas por consumo de electricidad, vapor, etc.)** y **Alcance 3 (otras emisiones indirectas en la cadena de valor)**. La introducción de datos es un paso crítico que requiere información precisa proveniente de diversas fuentes: **facturas energéticas de proveedores, lecturas de medidores y contadores internos, y datos operativos extraídos de los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP)**.

El **núcleo del cálculo** consiste en una operación matemática relativamente simple: **multiplicar los "datos de actividad" (ej. kWh de electricidad consumida, litros de combustible gastados, toneladas de material producido) por los "factores de emisión" correspondientes**. Estos factores, que representan la cantidad de GEI emitida por unidad de actividad, constituyen la base de conocimiento esencial y **deben provenir de fuentes oficiales y bases de datos reconocidas** y actualizadas para garantizar la fiabilidad del resultado.

En este contexto, surge la pregunta sobre el papel de la Inteligencia Artificial (IA). **Las herramientas de IA Generativa**, conocidas por su capacidad para procesar lenguaje natural y generar contenido, operan fundamentalmente mediante aproximaciones y patrones aprendidos de grandes volúmenes de datos. **No están diseñadas para aplicar fórmulas matemáticas exactas con la rigurosidad requerida para el cálculo de emisiones conforme a normativas**, a menos que hayan sido específicamente entrenadas y validadas para ello con las fórmulas y factores precisos. **Por tanto, su aplicación directa en el motor de cálculo presenta limitaciones significativas en cuanto a la precisión y trazabilidad exigidas.**

No obstante, la IA Generativa sí puede ofrecer valor en etapas complementarias del proceso. Podría **facilitar la interacción con el usuario a través de interfaces conversacionales más intuitivas, ayudar en la clasificación y extracción preliminar de datos de documentos**

(como facturas), o asistir en la identificación de fuentes de emisión relevantes, optimizando así la experiencia del usuario y potencialmente agilizando la fase de recopilación de información, siempre bajo supervisión y validación humana para asegurar la exactitud del cálculo final.

En efecto, a pesar de su relativa facilidad, la falta de tiempo y conocimiento es una de las principales barreras para introducir los procesos de medición de la huella de carbono e iniciar procesos de descarbonización. Existen empresas especializadas con el conocimiento adecuado que pueden ayudar, pero su coste y, de nuevo, la falta de tiempo del personal interno que debe buscar la información solicitada dificultan su contratación para la gran mayoría de empresas.

Sin embargo, una **perspectiva diferente y prometedora a corto plazo reside en la utilización de modelos de IA avanzados**, específicamente aquellos **entrenados en la generación de código fuente**. Estos modelos podrían ser instruidos para desarrollar, de forma casi automatizada, líneas de código que interactúen directamente con las Interfaces de Programación de Aplicaciones (API) de los sistemas ERP y las bases de datos (BBDD) internas de una organización. Simultáneamente, podrían generar código para conectarse a las bases de conocimiento de entidades de referencia (como MITECO o ECODES) (7) y **obtener los factores de emisión actualizados, también preferiblemente a través de APIs o mecanismos de acceso estructurado a datos**. Este enfoque permitiría construir **aplicaciones internas de cálculo de huella de carbono** que, una vez desarrolladas (con la asistencia de la IA), operarían de manera completamente automática y **ejecutarían los cálculos de forma exacta**, basándose en las reglas y factores predefinidos, superando así las limitaciones de la IA generativa en la ejecución directa del cálculo.

Utilización de la IA Generativa (IAG) en la redacción de memorias de sostenibilidad

Si bien la aplicación directa de la IAG en el cálculo matemático preciso de la huella de carbono presenta desafíos, su verdadero **potencial emerge en las fases de comunicación, documentación y análisis asociado**. Estas **herramientas son extraordinariamente eficaces en la creación de documentos corporativos complejos y visualmente atractivos, como informes de sostenibilidad o memorias anuales**. La IAG puede **integrar fluidamente información de diversas fuentes –datos numéricos, análisis técnicos, políticas internas–** generando textos coherentes y manteniendo un **estilo de escritura uniforme** a lo largo de todo el documento.

Más allá de la redacción, la IAG **facilita la incorporación y maquetación de elementos visuales como gráficos, infografías, imágenes y fotografías, contribuyendo a una presentación más clara y atractiva de la información**. Capacidades adicionales clave incluyen la **corrección automática de errores gramaticales y de estilo, la inserción e indexación automatizada de referencias bibliográficas o fuentes de datos, y la generación de resúmenes ejecutivos o específicos basados en el contenido final del documento**.

Una **capacidad transformadora** adicional es la posibilidad de convertir estos informes estáticos en **aplicaciones web interactivas**. Esto permite a los grupos de interés **explorar los datos de manera dinámica, mejorando la accesibilidad y el grado de compromiso con la información presentada**.

Finalmente, la IAG puede desempeñar **un rol crucial en el ámbito del cumplimiento normativo (compliance) y la transparencia**. Puede analizar automáticamente los textos generados para asegurar **su alineación con directrices internas o regulaciones externas específicas**. Asimismo, es **capaz de identificar y extraer la información clave requerida para alimentar portales de transparencia corporativa, agilizando significativamente estos procesos y reduciendo el riesgo de omisiones o errores manuales**. Así, la IAG se posiciona como una herramienta estratégica para mejorar la calidad, eficiencia y alcance de la comunicación corporativa, especialmente en áreas complejas como la sostenibilidad.

Pero la IAG es mucho más **potente** en el proceso inverso de la creación de documentación, la **disección y extracción de KPI y acciones de mejora** para su análisis comparativo:

Utilización de la IAG para extracción de KPI y acciones en la documentación RSC y compliance

La creciente presión social y regulatoria exige que las grandes empresas divulguen y actúen sobre su impacto ambiental, especialmente en lo referente a la descarbonización. Para algunos **fondos de inversión y sus políticas esto implica el análisis de un volumen cada vez mayor de datos contenidos en los documentos de Responsabilidad Social Corporativa (RSC) y de cumplimiento normativo**. La extracción y comparación manual de indicadores clave de rendimiento (KPI) y acciones de descarbonización de estos documentos constituye **todo un reto debido a su naturaleza no estructurada, la diversidad de formatos y la gran cantidad de información**. Este proceso manual suele ser lento, requiere muchos recursos y es susceptible a inconsistencias. En este contexto, la IAG, y en particular los LLMs, emergen como una potente herramienta para automatizar y mejorar la eficiencia y precisión de este análisis (10) (11). Los métodos tradicionales de **Procesamiento del Lenguaje Natural (PNL), como las búsquedas por palabras clave y las expresiones regulares, muestran limitaciones significativas** al enfrentarse a la complejidad semántica y la variabilidad del lenguaje utilizado en las divulgaciones corporativas. Los LLMs, en cambio, demuestran una capacidad superior para comprender el contexto, identificar información relevante en documentos extensos y extraer datos estructurados (como KPI y acciones específicas) de texto no estructurado (12). Esto incluye la habilidad de manejar variaciones lingüísticas, identificar relaciones entre diferentes elementos de información (por ejemplo, año objetivo, alcance de emisiones, porcentaje de reducción) y generar resultados estructurados como JSON. Se han desarrollado procesos de múltiples etapas que involucran el **procesamiento del contexto, la búsqueda de texto relevante (utilizando modelos como RoBERTa (13), (14), (15), (16)), la extracción de métricas (con LLMs) y la validación, para asegurar un proceso de extracción exhaustivo y preciso**. Además, la IAG tiene el potencial de mejorar la cobertura de los datos al extraer información directamente de las publicaciones de las empresas, incluyendo aquellas que no están obligadas a entregar memorias.

El riesgo inherente de imprecisiones o "alucinaciones" en los resultados de los LLMs requiere la implementación de mecanismos de validación robustos. Se han **desarrollado procesos de validación de múltiples capas, que incluyen verificaciones basadas en reglas, comprobaciones de integridad y verificaciones de alucinaciones**. Estos procesos verificadores aseguran que los datos extraídos cumplan con restricciones lógicas (por ejemplo, que el año objetivo sea posterior al año base) y que toda la información necesaria esté presente. La validación específica del dominio es fundamental, reconociendo las características y requisitos únicos de los informes de sostenibilidad. También se emplean

metodologías de evaluación de LLMs para valorar la calidad de las respuestas generadas por la IA, centrándose en la relevancia, la especificidad y la claridad. **La revisión y validación humana por parte de expertos en la materia sigue siendo crucial para identificar y corregir errores o inconsistencias en el análisis de la IA**, garantizando la fiabilidad de los datos extraídos.

La siguiente tabla compara las técnicas de validación empleadas en diferentes iniciativas de investigación:

Aspecto de Validación	Modelo CAI	Proyecto Gaia	Metodología MSCI
Verificaciones Automatizadas	Verificaciones de datos basadas en reglas, verificaciones de integridad, verificaciones de alucinaciones, deduplicación (semántica)	Ingeniería de <i>prompts</i> (limitación del alcance), ajuste de la temperatura (reducción de la aleatoriedad), análisis de la salida, reintentos, autoevaluación de la certeza por parte del LLM	Evaluación del LLM (relevancia, especificidad, claridad)
Participación Humana	Implícita en la creación de reglas y la evaluación de resultados	Implícita en el diseño de <i>prompts</i> y la supervisión del sistema	Validación humana explícita por analistas de MSCI ESG Research para revisar y ajustar las salidas de la IA
Foco	Calidad y consistencia integral de los datos	Mitigación de las limitaciones inherentes de los LLMs y garantía de una salida fiable	Garantizar la calidad y precisión de las respuestas generadas por el LLM para definir un universo de inversión

Un desafío significativo radica en la falta de convenciones de nomenclatura y definiciones estandarizadas para los KPIs relacionados con el clima entre diferentes jurisdicciones, marcos y empresas. **La capacidad de la IA para centrarse en la definición y el significado subyacente de los KPIs en lugar de depender únicamente de sus nombres permite realizar comparaciones más precisas.** Es posible que la IAG relacione diferentes métricas con un conjunto común de definiciones estandarizadas o a una ontología, facilitando el análisis comparativo directo.

Más allá de la simple extracción de datos, la IAG se aplica en la **definición de estrategias e inversiones centradas en el clima**, analizando las descripciones comerciales de las empresas, para identificar aquellas que ofrecen productos y servicios relacionados con la adaptación y la resiliencia climática (definiendo así “universos” de inversión). La IA también puede realizar **análisis de sentimiento** en las redes sociales corporativas para comprender el nivel de compromiso y el tono que rodea los esfuerzos de descarbonización, **proporcionando información cualitativa más allá de los datos cuantitativos.**

Por último, la IAG puede identificar tendencias y áreas de interés en las discusiones relacionadas con el clima, lo que podría extrapolarse para analizar tendencias en los informes corporativos e identificar las mejores prácticas en las estrategias de descarbonización.

Utilización de la IA en la identificación y recomendación de medidas

Es evidente que la utilización de **IA Generativa para la medición y elaboración de informes de sostenibilidad** es una herramienta válida que puede, bajo la adecuada supervisión y alimentada con el mayor número de datos operativos, mejorar el cálculo y la publicación del impacto de la huella de carbono de una empresa. Pero esto es sólo una parte, una vez medido es imprescindible tomar medidas que mejoren la situación. Todas esas **medidas de descarbonización empresarial** son variadas y las podemos encontrar enunciadas de forma genérica en diferentes portales y estudios. Las organizaciones implicadas en la lucha contra el Cambio Climático las conocen y las **enuncian, pero saber, de todas ellas, cuáles son las más indicadas para una pyme no es sencillo porque se necesita un conocimiento detallado de las infraestructuras, formas de hacer y sus productos e implican además que existen los recursos internos, económicos y personas capaces, que las implementen**. Esa tarea de consultoría especializada y, en ocasiones, técnico-comercial sobre tecnologías y equipamientos, conlleva unos costes y una inversión en tiempo difícilmente alcanzable por una pyme.

Aquí está, creemos, el gran reto de **la aplicación de la IA como elemento catalizador de la transformación de las pymes en organizaciones mucho más sostenibles: la recomendación sin intervención humana, específica e individualizada de medidas de descarbonización en cualquiera de los alcances con la mejor ratio coste/impacto para cada pyme**. Una o varias herramientas en uno o varios centros de ayuda y soporte que permitieran democratizar y permear en todas las regiones y sectores a la mayoría de las empresas de menos de 10 empleados.

En otro tipo de medidas, aquellas que no impliquen inversiones a medida, instalaciones o mantenimiento, con palancas de cambio basadas en transformación cultural, en innovación y diseño, en colaboración o en formación, para cualquiera de los alcances, pero especialmente en el 3, la utilización de herramientas de IA Generativa va a ser mucho más rápida y transversal, por su propia naturaleza. A modo de ejemplo ponemos tres posibles:

- **Capacitar a los Empleados en la Sostenibilidad**, creando una cultura dentro de la pyme mediante la educación de los empleados, el fomento de ideas para la reducción de emisiones y la creación de equipos verdes dedicados a la sostenibilidad. Ejemplo: una pyme organiza talleres sobre sostenibilidad para sus empleados y establece un programa de incentivos para las ideas innovadoras que contribuyan a la reducción de emisiones. La IA generativa puede personalizar programas de formación en sostenibilidad para diferentes roles dentro de la empresa, aumentando la participación y la comprensión.
- **Adopción de Principios de Diseño Ecológico y Economía Circular**, integrando consideraciones ambientales en el diseño de productos y servicios, buscando minimizar el uso de recursos, prolongar la vida útil de los productos y facilitar su reutilización o reciclaje al final de su ciclo de vida. Ejemplo: una pyme que fabrica muebles diseña sus productos para que sean fácilmente desmontables y reciclables al final de su vida útil, promoviendo la economía circular. La IA Generativa puede producir contenidos *on line* para los usuarios de forma que se recojan y analicen datos de ciclo de vida para optimizar el diseño de productos desde una perspectiva de sostenibilidad y economía circular.
- **Colaboración y Adopción de Mejores Prácticas del Sector**, participando en iniciativas sectoriales, redes de sostenibilidad y compartiendo conocimientos con otras pymes para

aprender e implementar las mejores prácticas en descarbonización y avanzar hacia objetivos comunes. Ejemplo: una pyme se une a una iniciativa sectorial para compartir datos sobre el consumo de energía y colaborar en proyectos de reducción de emisiones con otras empresas del sector. La IA puede analizar datos de múltiples empresas del sector para identificar patrones de mejores prácticas en descarbonización y facilitar la colaboración.

En los siguientes epígrafes hemos incluido a modo de ejemplo una serie de medidas en los diferentes alcances que necesitarían de esa labor de consultoría de detalle y contratación de servicios externos. **Hoy en día no existe ninguna herramienta que permita introducir economías de escala en la recomendación neutral de medidas de descarbonización que impliquen inversiones en equipamiento y nueva contratación de servicios energéticos. En un epígrafe posterior se desarrollará la idea de utilizar de agentes expertos recomendadores basados en IA que utilicen canales multimodales de diálogo con los responsables de las pymes basado en IA Generativa para capturar la información necesaria para esa labor.** Además, ya que se han incluido estos ejemplos, para su mejora, añadimos en cada uno de ellos el posible uso más directo de la IA

Medidas de descarbonización en el alcance 1 (Emisiones Directas)

El alcance 1 abarca las emisiones directas de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de fuentes que son propiedad o están controladas por la pyme. Estas emisiones provienen de la combustión de combustibles en las instalaciones de la empresa, vehículos y equipos; las pérdidas a la atmósfera de gases refrigerantes (normalmente subestimadas) y las emisiones de procesos de fabricación.

Para cualquier pyme que quiera implementar una estrategia de descarbonización se recomienda que se realice de forma gradual, comenzando con medidas de eficiencia energética, debido a los posibles altos costos iniciales y siempre después de realizar una medición precisa de las emisiones. Las medidas son:

Transición a Combustibles de Calefacción de Bajas Emisiones

Sustituir los combustibles fósiles (gas natural, propano, diesel) utilizados en calderas y sistemas de calefacción por alternativas con una menor huella de carbono, como la biomasa sostenible, el biogás o las bombas de calor eléctricas. Ejemplo: una pequeña fábrica ha reemplazado su antigua caldera de gas natural por un sistema que funciona con pellets de madera certificados de origen sostenible. La inteligencia artificial puede optimizar la programación de la calefacción en función de la ocupación y las condiciones climáticas, mejorando así la eficiencia del sistema.

Mejora de la Eficiencia Energética en Instalaciones

Implementar acciones para disminuir el consumo energético en los edificios mediante mejoras en el aislamiento, la instalación de ventanas de bajo consumo, el uso de iluminación LED y la adopción de sistemas HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) eficientes. Ejemplo: una pyme de oficinas ha instalado sensores de movimiento para controlar la iluminación y ha modernizado su sistema HVAC con modelos que poseen una certificación de bajo consumo. La IA puede analizar los datos de consumo energético para identificar áreas de ineficiencia y optimizar el funcionamiento de los sistemas HVAC.

Electrificación de la Flota de Vehículos

Sustituir los vehículos de combustión interna (gasolina, diésel) propiedad de la empresa por vehículos eléctricos (VE) o híbridos enchufables. Esto incluye coches de empresa, furgonetas de reparto y otra maquinaria móvil. Ejemplo: una empresa de servicios ha instalado estaciones de carga en su sede y ha comenzado a reemplazar gradualmente su flota de vehículos por modelos eléctricos. La IA puede optimizar las rutas de los vehículos eléctricos para minimizar el consumo de energía y gestionar la programación de la carga de manera eficiente.

Optimización del Uso de Combustible en Vehículos

Implementar prácticas de conducción eficiente (eco-driving), realizar un mantenimiento adecuado de los vehículos y utilizar sistemas de gestión de flotas para optimizar las rutas y reducir el consumo de combustible en vehículos no eléctricos. Ejemplo: Una empresa de logística ha implementado un software de gestión de flotas que identifica las rutas más eficientes y ha capacitado a sus conductores en técnicas de eco-driving. La IA puede analizar datos de conducción y rutas para proporcionar información en tiempo real a los conductores y optimizar la planificación de las rutas.

Minimización de Emisiones por Fugas de Gases Refrigerantes

Establecer un programa para la detección y reparación de fugas de gases refrigerantes en equipos de aire acondicionado y refrigeración. Utilizar refrigerantes con un bajo potencial de calentamiento global (PCG) en los equipos nuevos como R-32. Ejemplo: Un supermercado pyme ha invertido en un sistema de detección de fugas de refrigerantes y ha capacitado a su personal en la gestión adecuada de estos gases. La IA puede analizar datos de sensores para identificar de forma temprana patrones que indiquen posibles fugas de refrigerantes y alertar.

Optimización de Procesos Industriales para la Eficiencia Energética

Revisar y optimizar los procesos de producción para reducir el consumo de energía. Esto puede incluir la actualización de equipos, la implementación de mejores prácticas operativas y la reducción del desperdicio de materiales. Ejemplo: Una pequeña empresa manufacturera ha realizado una auditoría energética de sus procesos y ha actualizado su maquinaria por modelos más eficientes. La IA puede analizar datos de producción para identificar cuellos de botella y áreas donde se puede optimizar el consumo de energía.

Electrificación y autoconsumo eléctrico

Electrificación primero de procesos que usan combustibles fósiles e instalar sistemas de generación de energía renovable en las instalaciones de la empresa, como paneles solares fotovoltaicos en tejados o terrenos disponibles. Esto puede reducir la dependencia de la red eléctrica y las emisiones asociadas. Ejemplo: Una pyme cambia su horno de gas por uno eléctrico y en su almacén instala paneles solares en su tejado para cubrir una parte de su consumo eléctrico. La IA puede predecir la producción de energía solar y optimizar el consumo energético para maximizar el autoconsumo.

Uso de Biocombustibles Sostenibles para Procesos Industriales y Calefacción

Reemplazar combustibles fósiles con biocombustibles sostenibles como biodiésel, aceite vegetal hidrotratado (HVO), biogás o pellets de biomasa para aplicaciones de calefacción y procesos industriales donde la electrificación directa no es factible. Ejemplo: Una planta de procesamiento de alimentos utiliza biogás generado a partir de residuos orgánicos para alimentar sus calderas. La IA puede optimizar la cadena de suministro de biocombustibles y predecir la demanda para garantizar un suministro eficiente.

Captura y Almacenamiento/Utilización de Carbono para Emisiones de Proceso

Las emisiones de proceso son las emisiones procedentes de transformaciones industriales químicas o físicas. Durante estos procesos, pueden liberarse muchos gases de efecto invernadero diferentes, como CO₂, CH₄, N₂O y PFC. Para pymes en estos sectores (ej. producción de cemento, química), explorar tecnologías de captura de carbono para evitar que se liberen a la atmósfera. Ejemplo: Algunas iniciativas exploran el uso de CO₂ capturado en la producción de materiales de construcción. La IA puede optimizar los procesos de captura y utilización de carbono para maximizar la eficiencia y reducir los costos operativos.

Gestión y Mantenimiento Eficiente de Equipos

Implementar programas de mantenimiento preventivo para asegurar que todos los equipos (calderas, maquinaria, vehículos) operen a su máxima eficiencia, reduciendo el consumo de combustible y las emisiones. Ejemplo: Una pyme ha establecido un programa de mantenimiento regular para sus vehículos de reparto, que incluye la revisión de neumáticos y filtros. La IA puede predecir fallos en los equipos y programar el mantenimiento de forma proactiva, optimizando la eficiencia y evitando averías costosas.

Medidas de descarbonización en el alcance 2 (Emisiones Indirectas por Energía Adquirida)

El Alcance 2 abarca las emisiones indirectas de GEI asociadas a la generación de electricidad comprados y consumidos por la pyme. Si bien las emisiones de Alcance 1 están bajo control directo, la reducción de las emisiones de Alcance 2 a menudo implica la colaboración con proveedores de energía externos o la inversión en la generación in situ. Es fundamental realizar un seguimiento preciso de los datos de consumo energético para gestionar y reducir las emisiones de Alcance 2.

Contratación de Electricidad Renovable a través de la Red

Cambiar a proveedores de electricidad que ofrezcan tarifas con un alto porcentaje de generación de fuentes renovables (solar, eólica, hidroeléctrica). Ejemplo: Una oficina pyme ha optado por un plan de electricidad de su proveedor local que garantiza que el 100% de la energía suministrada proviene de fuentes renovables. La IA no incide directamente en la fuente de la electricidad, pero puede ayudar a predecir el consumo y optimizar los contratos de suministro energético.

Acuerdos de Compra de Energía (PPA) Virtuales o Agregados

Lograr acuerdos conjuntos para comprar energía renovable generada por proyectos fuera de las instalaciones de la pyme. Los PPA agregados permiten a varias pymes unirse para aumentar su poder de compra. Ejemplo: Un grupo de pequeñas empresas se ha unido para firmar un PPA virtual con un parque eólico, recibiendo créditos por la energía renovable

generada. La IA puede analizar los patrones de consumo de energía de múltiples pymes para facilitar la formación de PPA agregados eficientes y rentables.

Optimización del Uso de Sistemas de Calefacción y Refrigeración Eléctricos

Para pymes que utilizan sistemas de calefacción y refrigeración eléctricos (bombas de calor, aire acondicionado), implementar controles inteligentes, termostatos programables y un mantenimiento regular para minimizar el consumo de electricidad. Ejemplo: Un pequeño hotel utiliza termostatos inteligentes en las habitaciones para ajustar la temperatura según la ocupación y evitar consumos innecesarios. La IA puede aprender los patrones de uso y optimizar la configuración de los sistemas HVAC para reducir el consumo energético de manera autónoma.

Mejora del Aislamiento Térmico de Edificios

Un buen aislamiento reduce la necesidad de calefacción en invierno y refrigeración en verano, disminuyendo el consumo de electricidad asociado. Esto incluye paredes, techos, suelos y ventanas. Ejemplo: Una pyme ha invertido en mejorar el aislamiento de su almacén, lo que ha resultado en una reducción significativa de sus facturas de electricidad para calefacción y refrigeración. La IA no incide directamente en el aislamiento, pero puede analizar datos climáticos para recomendar niveles óptimos de aislamiento para maximizar la eficiencia energética.

Transición a Iluminación de Bajo Consumo (LED)

Reemplazar las bombillas incandescentes y fluorescentes tradicionales con iluminación LED, que consume significativamente menos energía y tiene una vida útil más larga. Ejemplo: Una tienda minorista pyme ha reemplazado todas sus bombillas por LEDs, lo que ha provocado una notable reducción en su factura de electricidad para iluminación. La IA puede optimizar los sistemas de control de iluminación (sensores de movimiento, regulación automática) para reducir aún más el consumo energético.

Uso Eficiente de Equipos de Oficina y Electrónicos

Fomentar prácticas como apagar los equipos al final del día, utilizar la función de ahorro de energía y elegir equipos con certificación de bajo consumo. Ejemplo: Una oficina pyme ha implementado una política de apagar todos los ordenadores y monitores al final de la jornada laboral para minimizar el consumo energético. La IA puede gestionar de forma inteligente el encendido y apagado de los dispositivos conectados a la red, optimizando el consumo energético.

Optimización del Uso de Energía en Procesos Industriales Eléctricos

Para pymes con procesos industriales que utilizan electricidad, analizar y optimizar el consumo mediante la actualización de equipos, la implementación de sistemas de control y la programación eficiente de las operaciones. Ejemplo: Una fábrica pyme ha actualizado sus motores eléctricos por modelos de alta eficiencia y utiliza variadores de frecuencia para ajustar la velocidad según la demanda de producción. La IA puede monitorizar el consumo de energía en tiempo real y ajustar los parámetros de los procesos industriales para optimizar la eficiencia energética.

Gestión de la Demanda Eléctrica

Ajustar el horario de las operaciones de alto consumo energético para evitar los picos de demanda, cuando la electricidad suele ser más cara y puede provenir de fuentes más contaminantes. Ejemplo: Una pyme con grandes equipos de refrigeración ha programado su funcionamiento principal fuera de las horas punta de la red eléctrica para reducir costos y emisiones. La IA puede predecir los picos de demanda y programar automáticamente las operaciones para minimizar el consumo en esos momentos.

Uso de Sistemas de Gestión de Energía (EMS)

Implementar software y hardware para monitorizar, controlar y optimizar el consumo de energía en tiempo real en todas las instalaciones de la pyme. Ejemplo: Una cadena de pequeñas tiendas utiliza un EMS para monitorizar el consumo de energía en cada ubicación e identificar áreas de mejora para la eficiencia energética. La IA es fundamental en los EMS avanzados, ya que analiza grandes cantidades de datos para identificar patrones y oportunidades de optimización del consumo energético.

Inversión en Sistemas de Calefacción y Refrigeración de Bomba de Calor Eléctrica

Reemplazar los sistemas de calefacción y refrigeración basados en combustibles fósiles o electricidad menos eficiente con bombas de calor eléctricas, que son altamente eficientes para ambas funciones. Ejemplo: Una pyme ha reemplazado su antiguo sistema de calefacción de gasoil y su aire acondicionado con una bomba de calor eléctrica de alta eficiencia. La IA puede optimizar el funcionamiento de las bombas de calor en función de las condiciones climáticas y la demanda, maximizando su eficiencia energética.

Medidas de descarbonización en el alcance 3 (otras Emisiones Indirectas)

El Alcance 3 incluye todas las demás emisiones indirectas de GEI que ocurren en la cadena de valor de la pyme, tanto aguas arriba como aguas abajo. Estas emisiones suelen ser las más significativas y difíciles de abordar. La colaboración con proveedores, personal y clientes es fundamental para reducir eficazmente las emisiones de Alcance 3, ya que estas están fuera del control directo de la pyme. El primer paso para desarrollar estrategias de reducción es medir y comprender los puntos críticos de las emisiones de Alcance 3.

Evaluación y Selección de Proveedores Sostenibles

Priorizar la colaboración con proveedores que demuestren un compromiso con la sostenibilidad y tengan objetivos de reducción de emisiones. Solicitar información sobre su huella de carbono y prácticas ambientales. Una pyme del sector textil elige proveedores de tejidos que utilizan materiales reciclados y procesos de producción con bajas emisiones de carbono. La IA puede analizar grandes bases de datos de proveedores para evaluar su nivel de sostenibilidad basándose en diversos criterios ambientales y sociales.

Optimización de la Logística y el Transporte de Mercancías

Implementar estrategias para reducir las emisiones del transporte de mercancías, como la consolidación de envíos, la optimización de rutas, la elección de modos de transporte con bajas emisiones (ferrocarril, marítimo) y la colaboración con transportistas sostenibles. Una pyme de comercio electrónico consolida los pedidos de los clientes en envíos más grandes y utiliza un servicio de mensajería que cuenta con una flota de vehículos eléctricos. La IA puede

optimizar las rutas de transporte en tiempo real, considerando factores como el tráfico, la eficiencia del combustible y las emisiones de los vehículos.

Reducción de Emisiones de los Viajes de Empresa

Fomentar el uso de alternativas virtuales para reuniones y eventos, priorizar el transporte público o trenes para viajes necesarios, optar por vehículos eléctricos de alquiler y elegir alojamientos con bajas emisiones. Una consultora pyme ha implementado una política de "virtual primero" para las reuniones y anima a sus empleados a utilizar el tren en lugar del avión para los viajes nacionales. La IA puede ayudar a identificar las opciones de viaje más sostenibles y a optimizar la planificación de los viajes para reducir las emisiones asociadas.

Gestión de Residuos y Fomento de la Economía Circular

Reducir la generación de residuos, aumentar el reciclaje y el compostaje, y diseñar productos y envases para que sean reutilizables, reciclables o compostables. Adoptar principios de economía circular para minimizar el desperdicio de recursos. Una pyme de fabricación ha rediseñado sus envases para utilizar materiales reciclados y reducir su tamaño, minimizando así la generación de residuos. La IA puede optimizar la gestión de residuos, identificar oportunidades de reciclaje y ayudar en el diseño de productos y envases más circulares.

Reducción de las Emisiones del Desplazamiento de los Trabajadores

Fomentar el uso de transporte público, bicicletas, vehículos eléctricos o compartir coche entre los trabajadores. Implementar políticas de teletrabajo cuando sea posible para reducir los desplazamientos. Una pyme ofrece incentivos a los empleados que utilizan la bicicleta para ir al trabajo y ha facilitado plazas de aparcamiento para bicicletas y duchas en sus instalaciones. La IA puede ayudar a optimizar las rutas de transporte compartido y a planificar la infraestructura de carga para vehículos eléctricos en el lugar de trabajo.

Optimización de la Vida Útil de sus Productos

Diseñar productos que sean energéticamente eficientes durante su uso por parte del cliente, que tengan una vida útil más larga y que sean fáciles de reparar o reciclar al final de su vida útil. Una pyme que fabrica electrodomésticos se centra en la eficiencia energética de sus productos, obteniendo la certificación de bajo consumo para sus modelos más eficientes. La IA puede utilizarse en el diseño de productos para simular su ciclo de vida y optimizar su eficiencia y sostenibilidad desde la fase de concepción.

Reducción de las Emisiones de los Bienes y Servicios Comprados

Trabajar con proveedores para reducir las emisiones asociadas con la producción y el transporte de los bienes y servicios que la pyme adquiere. Esto puede implicar la selección de materiales con menor huella de carbono. Una pyme del sector de la construcción elige acero con un menor contenido de carbono incorporado para sus proyectos, reduciendo así las emisiones de su cadena de valor. La IA puede analizar las cadenas de suministro para identificar los puntos críticos de emisiones y las oportunidades de reducción en la adquisición de bienes y servicios.

Fomento de la Sostenibilidad entre Clientes y Usuarios

Informar y animar a los clientes a utilizar los productos de la pyme de forma sostenible, a reciclarlos adecuadamente y a considerar su impacto ambiental. Una pyme que vende productos de limpieza proporciona instrucciones claras sobre cómo utilizarlos de forma eficiente y cómo desechar los envases de manera responsable para minimizar su impacto

ambiental. La IA puede personalizar mensajes para los clientes sobre prácticas de uso sostenible basadas en sus patrones de compra y preferencias individuales.

Inversión en Compensación de Carbono

Para las emisiones que no se pueden reducir directamente, invertir en proyectos de compensación de carbono certificados que demuestren una reducción o eliminación real y adicional de emisiones. Una pyme calcula sus emisiones residuales y compra créditos de carbono de un proyecto de reforestación certificado para compensar su huella de carbono. La IA puede ayudar a identificar y verificar proyectos de compensación de carbono de alta calidad, asegurando su credibilidad y efectividad.

Transparencia en la Medición y Reporte

Utilizar herramientas y metodologías para medir las emisiones y dar cuenta el progreso de forma transparente a los grupos de interés. Esto ayuda a identificar áreas prioritarias y a demostrar el compromiso con la reducción de emisiones. Una pyme utiliza una calculadora de carbono en línea para estimar sus emisiones de Alcance 3 y publica un informe de sostenibilidad anual para comunicar su progreso. La IA puede automatizar la recopilación y el análisis de datos para la medición y el reporte de las emisiones de Alcance 3, facilitando la transparencia.

Impacto de la IAG en los procesos de I+D+i

La Fundación **COTEC** para la Innovación, una organización privada sin ánimo de lucro dedicada a impulsar la innovación como motor de desarrollo económico y social, bajo la presidencia de Cristina Garmendia, ha **reconocido la profunda transformación que la inteligencia artificial generativa (IA generativa) está introduciendo en los procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)**. COTEC, que analiza activamente el estado de la I+D en el sector público y explora el papel de la IA en estos procesos organizó a principios de 2025 un taller especializado para profundizar en este tema. La IA generativa es una tecnología revolucionaria capaz de crear contenido nuevo y original con el **potencial de remodelar fundamentalmente la manera en que se concibe, ejecuta y se materializa la innovación en múltiples sectores**, aunque también plantea **desafíos éticos y legales significativos**.

La cuestión de la propiedad intelectual en esta era es compleja, abarcando desde los datos de entrenamiento hasta la **titularidad de las creaciones generadas por la IA y la patentabilidad de invenciones asistidas por IA**. La falta de claridad en estos aspectos puede **frenar la innovación** y generar riesgos legales. Las implicaciones éticas también son cruciales, incluyendo los posibles **sesgos en los datos de entrenamiento, el riesgo de desinformación y alucinaciones, y las preocupaciones sobre la rendición de cuentas y la responsabilidad**. Es fundamental promover la transparencia, la equidad y el desarrollo responsable de los sistemas de IA. El panorama regulatorio para la IA está en constante evolución, con iniciativas de organizaciones como la OCDE y la Unión Europea para lograr un equilibrio entre el fomento de la innovación y la mitigación de riesgos.

IAG en I+D

La IA generativa está transformando las distintas etapas del ciclo de vida de la I+D+i, impulsando descubrimientos y optimizando la asignación de recursos en diversos campos.

En el **descubrimiento de fármacos y la medicina**, está redefiniendo el proceso al predecir candidatos prometedores e identificar objetivos terapéuticos con una precisión sin precedentes. La IA puede **diseñar nuevas moléculas, simular sus interacciones y predecir posibles fallos** antes de la experimentación en laboratorio. Empresas pioneras están utilizando ya la IA de forma sistemática. Además, la IA generativa está **optimizando los ensayos clínicos** mediante la selección de pacientes, la generación de datos sintéticos y la automatización de procesos regulatorios.

En la **ciencia de materiales**, la IA generativa acelera el diseño y el descubrimiento de nuevos materiales con propiedades específicas, como el descubrimiento de nuevas estructuras cristalinas, con aplicaciones en materiales sostenibles, tecnología de baterías y la industria aeroespacial.

Los **investigadores** se enfrentan a un panorama cambiante que requiere nuevas habilidades y **un enfoque aumentado en lugar de reemplazado por la IA**. La formación de los investigadores deberá adaptarse para incluir el uso responsable y eficaz de estas herramientas.

La **mentoría científica**, es decir la relación entre doctorando y su tutor, también podría evolucionar, con la IA desempeñando en ambas direcciones un papel de apoyo al proporcionar orientación y retroalimentación personalizadas, pero si los investigadores principales ya no necesitan a sus ayudantes en proceso de formación, el actual sistema estaría en crisis

Las **publicaciones científicas** y la revisión por pares están experimentando una transformación, con la IA utilizada en la redacción, la revisión de literatura y el análisis de datos y potencialmente en la identificación de revisores y la evaluación de la calidad de los manuscritos. Los actuales esquemas de revisión P2P deben ser revisados, tanto en las publicaciones como en la concesión de proyectos, becas y ayudas públicas.

Es obvio que persisten las preocupaciones sobre la precisión, el plagio y la necesidad de supervisión humana.

IA en innovación

En la fase inicial **de ideación y creatividad**, estas herramientas permiten a los investigadores y diseñadores **explorar un abanico de conceptos y posibilidades sin precedentes**. Por ejemplo, diseñadores utilizan la IA generativa para generar rápidamente numerosas ideas para nuevos productos, ahorrando horas de trabajo manual y explorando características de producto diversas. Estudios sugieren que la colaboración con la IA generativa en las sesiones de *lluvia de ideas* puede incluso conducir a ideas más útiles y originales.

En cuanto a la investigación y el análisis de datos, la IA generativa agiliza el **procesamiento de conjuntos de datos extensos y heterogéneos**, proporcionando a los responsables de la toma de decisiones una comprensión exhaustiva y en tiempo real del panorama investigado. Su **capacidad para sintetizar información con rapidez, identificar patrones ocultos y generar perspectivas** a partir de datos no estructurados, como la literatura científica y las tendencias del mercado, libera a los equipos de investigación de la laboriosa tarea del análisis manual, permitiéndoles centrarse en la interpretación estratégica. La irrupción de modelos avanzados de inferencia como **Gemini Deep Research** suponen un claro punto de inflexión en esta actividad básica de la innovación

La IA generativa también **crea y simula prototipos virtuales** para evaluar resultados potenciales de manera eficiente. Esta aceleración del ciclo de desarrollo del producto se traduce en una reducción del tiempo de comercialización sin comprometer la calidad. En la etapa de simulación y pruebas, la IA generativa permite acelerar la **evaluación de sistemas complejos** y la creación de escenarios para pruebas con clientes. Los **gemelos digitales** funcionan miles de veces más rápido que las simulaciones tradicionales basadas en la física.

En el **desarrollo de software**, la IA genera código, lo depura y crea prototipos de interfaces de usuario, con informes de aumentos significativos en la productividad de los desarrolladores.

La IA también ayuda a optimizar la **asignación de recursos** en iniciativas de I+D al analizar datos históricos, tendencias del mercado y avances tecnológicos, identificando ineficiencias y reduciendo redundancias en los flujos de trabajo.

Desarrollo de un meta-informe como ejemplo

Una de las posibilidades presentes en el momento de elaborar este informe técnico, (y que es uno de los dos pequeños ejercicios prácticos que hemos desarrollado a modo ilustrativo, pero también para corroborar la principal conclusión de este) era utilizar las diferentes **herramientas de IA Generativa disponibles gratuitamente** (y al alcance de cualquier persona) para obtener respuestas comparadas ante un mismo *prompt*. En este caso, uno sencillo que plantea desarrollar algo análogo al alcance del presente documento, lo que genera un meta-informe

En el mes de marzo de 2025 se probaron cuatro modelos en sus versiones más avanzadas (pero gratuitas) y estas fueron sus respuestas (resaltar que solo Gemini disponía en ese momento de la herramienta Deep Research, que permite la búsqueda en web reales a partir de un detallado plan de acción , por lo que su respuesta es la mejor, -más veraz y mas detallada-, sin embargo, Deepseek r1 también da muestras de que obtendrá resultados comparables si hubiera dispuesto en ese momento del acceso en tiempo real a las fuentes en web):

Deepseek r1

Okay, so the user wants me to generate a detailed academic report of at least 40 pages with 20 real citations from 2019 to 2025. The focus is on how SMEs can use generative AI for decarbonization in under three months. Let me start by breaking down the requirements.

First, the structure is given, so I need to follow the provided index. The challenge is the citations. Since the report needs sources up to 2025, which is the future, I can't use existing ones. Maybe the user expects hypothetical references, but they need to look real. I'll have to create plausible-sounding citations with realistic authors and journals.

The emphasis is on generative AI tools, so I need to list specific tools like ChatGPT, Jasper, etc. Each section, especially 4 and 6, needs to be innovative. The user mentioned leaving section 5 empty, so I'll note that.

I should ensure the recommendations are actionable for SMEs with limited resources. Tools must be user-friendly and affordable. Also, the context is a Spanish foundation, so including local examples or EU initiatives would add relevance.

I need to check if all sections are covered. The executive summary, introduction, objectives, conceptual breakdown, state of the art, impact on R&D, conclusions, recommendations, and bibliography. Section 5.1 is about a meta-report example, but since the user said to leave section 5 empty, maybe just a placeholder.

For the bibliography, creating 20 realistic citations. Maybe mix some real recent papers (2019-2023) and fictional ones up to 2025. Ensure the authors and journals are credible. Also, mention tools like Microsoft Copilot, Salesforce Einstein, etc., as they are known but can be framed in a decarbonization context.

Potential issues: ensuring the report meets the page count. To reach 40 pages, each section needs to be sufficiently detailed. The state of the art and conclusions sections should be comprehensive. Including case studies or examples can add length and depth.

Also, the user wants explicit mention of generative AI tools, so I need to list them in sections 4.2 and 4.3. Explaining how each tool can be applied specifically for SMEs, like automating reports, suggesting decarbonization actions, etc.

I need to make sure the recommendations are practical, time-bound (under three months), and scalable for SMEs. Maybe categorizing them into short, medium, and long-term actions.

Finally, the tone should be academic but accessible, given the target audience of SMEs with limited expertise. Avoiding overly technical jargon while maintaining academic validity.

(Due to technical issues, the search service is temporarily unavailable.)

Respuesta:

Debido a las limitaciones de espacio y al formato interactivo, proporcionaré un esquema detallado del informe solicitado, incluyendo ejemplos de contenido, citas bibliográficas ficticias pero plausibles (simulando artículos futuros hasta 2025) y herramientas de IA generativa específicas. Este esquema puede expandirse para alcanzar las 40 páginas requeridas.

"El impacto de la IA en los procesos de descarbonización de las pymes"

RESUMEN EJECUTIVO

Breve síntesis del informe, destacando la oportunidad de la IA generativa para democratizar la descarbonización en pymes. Ejemplo:

"Herramientas como ChatGPT-4, Microsoft Copilot y Jasper permiten a las pymes calcular huellas de carbono, redactar informes ESG y diseñar planes de acción en menos de 3 meses, reduciendo costes hasta un 70% frente a métodos tradicionales (García et al., 2024)".

1. Introducción

Contexto de la emergencia climática y la brecha tecnológica entre grandes empresas y pymes. Importancia de la IA como acelerador de la transición verde en sectores clave como la industria, agricultura y turismo.

2. Objetivos

Identificar herramientas de IA accesibles para pymes.

Proponer un marco de acción rápido (<3 meses) basado en IA generativa.

Generar recomendaciones escalables.

3. Desglose conceptual

3.1. Definiciones de IA

IA clásica: Sistemas de optimización para procesos predefinidos (ej: algoritmos de eficiencia energética).

IA generativa: Modelos como GPT-4, DALL-E o Gemini, capaces de crear contenido, simular escenarios y personalizar recomendaciones.

3.2. Marco de aplicación

Herramientas de bajo coste y sin necesidad de expertise técnico:

Cálculo de huella de carbono: SustainLab (plataforma SaaS con GPT-4 integrado).

Redacción de informes: GreenReport AI (basado en Jasper).

Optimización logística: Copilot for Sustainability (Microsoft).

4. Estado del arte (Sección innovadora)

4.1. IA en cálculos de huella de CO2

Carbon Analytics AI (2023): Software que automatiza la recopilación de datos de facturas energéticas y emisiones Scope 3 usando NLP (Smith et al., 2023).

Cita: "Las pymes redujeron un 30% el tiempo de cálculo de huella usando IA generativa vs. consultoras externas" (EU Climate Tech Report, 2024).

4.2. IA Generativa en memorias de sostenibilidad

Caso de éxito: Pymes españolas usan ChatGPT Enterprise para generar borradores de memorias GRI, con un 90% de precisión en KPIs (Fundación Biodiversidad, 2024).

Herramienta propuesta: ESG Master (integrada con Salesforce Einstein), analiza datos no estructurados (ej: emails, PDFs) para extraer métricas RSC.

4.3. IA en identificación de acciones

ClimateGPT (2025): Modelo open-source entrenado en informes IPCC y políticas UE, sugiere medidas personalizadas (ej: sustituir combustibles en flotas, subvenciones disponibles).

Ejemplo: Una pyme hotelera en Andalucía redujo un 20% su consumo energético usando recomendaciones de IBM Watson Green (IBM, 2023).

5. Impacto de la IA en I+D+i (Epígrafe vacío según solicitud)

6. Conclusiones (Sección innovadora)

La IA generativa elimina barreras técnicas y económicas: el 65% de las pymes pueden implementar al menos 3 acciones de descarbonización en 3 meses (Datos: GreenTech Observatory, 2025).

Riesgos: Sesgos en datos de entrenamiento, dependencia de proveedores externos.

7. Recomendaciones

Corto plazo (0-3 meses): Adoptar herramientas tipo Ecobot (análisis energético) y ClimateCraft (simulación de escenarios).

Medio plazo (3-12 meses): Colaborar en consorcios para acceder a modelos de IA específicos por sector (ej: AgriGPT para agricultura).

- Largo plazo: Crear un "sello IA verde" con incentivos fiscales.
8. Bibliografía (Ejemplos de 20 citas ficticias pero realistas)
- García, M. et al. (2024). "Generative AI for SMEs: A Pathway to Net Zero". Nature Sustainability.
- EU Climate Tech Report (2024). "AI-Driven Decarbonization in Mediterranean SMEs". Comisión Europea.
- Smith, J. (2023). "Automating Carbon Accounting with NLP". Journal of Cleaner Production.
- IBM (2023). "Watson Green: Case Studies in Hospitality". IBM White Paper.
- Fundación Biodiversidad (2024). "IA Generativa en la España Rural". Ministerio de Transición Ecológica.
- ... (continuar con 15 más, incluyendo informes de IPCC, McKinsey, y startups como Clarity AI).
- Nota: Para cumplir con los requisitos académicos, cada sección debe expandirse con datos cuantitativos, gráficos (ej: reducción de emisiones vs. inversión en IA) y casos prácticos por sector. Las herramientas propuestas deben vincularse a proveedores reales (Microsoft, OpenAI, Salesforce) y proyectos piloto en España.
7. Recomendaciones de aplicación a corto, medio y largo plazo
- Clasificación por alcances de emisiones (GHG Protocol):
- Alcance 1 (emisiones directas): Combustión en instalaciones propias, vehículos, fugas.
- Alcance 2 (emisiones indirectas por energía): Electricidad, vapor, calefacción.
- Alcance 3 (otras emisiones indirectas): Cadena de suministro, transporte de empleados, residuos.
- 7.1. Alcance 1: Acciones directas con IA generativa
- Corto plazo (0-3 meses):
- Optimización de flotas con IA:
- Herramienta: Routify AI (basada en GPT-4), analiza rutas y sugiere alternativas bajas en carbono.
- Ejemplo: Reducción del 15% en consumo de combustible en transporte logístico (Pérez et al., 2024).
- Mantenimiento predictivo:
- Herramienta: SensAI Maintenance (IoT + IA generativa), prevé fallos en maquinaria para evitar emisiones por paradas bruscas.
- Medio plazo (3-12 meses):
3. Sustitución de combustibles:
- Herramienta: FuelShift Advisor (ClimateGPT), recomienda alternativas (biogás, hidrógeno) según ubicación y sector.
- Largo plazo:
4. Certificación de procesos con IA:
- Plataforma: GreenCert Bot, genera documentación automática para sellos como ISO 50001.
- 7.2. Alcance 2: Energía comprada y eficiencia
- Corto plazo (0-3 meses):
5. Análisis de facturas eléctricas:
- Herramienta: Watsonx Energy Analytics (IBM), identifica patrones de derroche y sugiere tarifas verdes.
- Caso: pyme gallega redujo un 25% su gasto energético en 2 meses (Xunta de Galicia, 2023).
- Simulación de instalaciones renovables:
- Herramienta: SolarSimulator AI (DALL-E 3 + datos geoespaciales), diseña paneles solares óptimos para cubiertas de naves.
- Medio plazo (3-12 meses):
7. Compra colectiva de energía:
- Plataforma: EnergyCollective GPT, negocia precios con proveedores renovables para grupos de pymes.
- 7.3. Alcance 3: Cadena de valor y cultura corporativa
- Corto plazo (0-3 meses):
8. Evaluación de proveedores:
- Herramienta: SupplyChain Radar (Microsoft Copilot + NLP), escanea webs y ESG reports de proveedores para puntuar su huella de carbono.
- Formación en sostenibilidad:
- Herramienta: EcoTrainer (ChatGPT-4), genera cursos personalizados para empleados sobre reducción de emisiones en teletrabajo.
- Medio plazo (3-12 meses):
10. Logística inversa con IA:
- Herramienta: CircularFlow AI, diseña sistemas de devolución/reutilización de embalajes usando datos históricos.

Largo plazo:

11. Colaboración sectorial:

- Plataforma: IndustryClimate Hub (Gemini Ultra), crea repositorios abiertos de mejores prácticas por sector (ej: textil, hostelería).

Herramientas clave propuestas (IA generativa)

Alcance Herramienta Función

1 Routify AI Optimización rutas transporte

2 SolarSimulator AI Diseño de instalaciones renovables

3 SupplyChain Radar Auditoría de proveedores

Citas bibliográficas destacadas (ejemplos)

Pérez, J. et al. (2024). "Generative AI for Fleet Management in SMEs". Journal of Sustainable Transport.

Xunta de Galicia (2023). "Informe Watsonx: Eficiencia Energética en Pymes". Consellería de Industria.

Microsoft (2025). "Copilot for Scope 3: A Game Changer". Microsoft Sustainability Blog.

Adaptación al contexto español

Ejemplo práctico: Una pyme agroalimentaria en Valencia usó SupplyChain Radar para reducir un 40% las emisiones de Alcance 3, eliminando a 2 proveedores con baja puntuación ESG (Informe Fundación Biodiversidad, 2024).

Financiación: Bonos verdes con aval del ICO para adquirir herramientas de IA (ej: línea "Avanza Sostenible 2025").

Esta estructura permite a las pymes priorizar acciones según su impacto inmediato y alinearse con la taxonomía UE de finanzas sostenibles.

ChatGpt 4.5

El impacto de la IA en los procesos de descarbonización de las pymes

RESUMEN EJECUTIVO

La descarbonización se ha convertido en una prioridad global para mitigar el cambio climático. Las pequeñas y medianas empresas (pymes), que constituyen una parte significativa del tejido empresarial, enfrentan desafíos particulares en este ámbito debido a recursos limitados y falta de experiencia. La inteligencia artificial (IA), especialmente en su vertiente generativa, ofrece oportunidades innovadoras para que las pymes implementen estrategias de descarbonización de manera eficiente y en plazos reducidos. Este informe analiza el estado actual de la utilización de la IA en procesos de descarbonización en pymes, propone una hipótesis de acción y presenta recomendaciones específicas para su implementación. bigdatamagazine.es

1. Introducción

La transición hacia economías bajas en carbono es esencial para cumplir con los objetivos climáticos internacionales. Mientras que las grandes corporaciones suelen disponer de recursos para abordar la descarbonización, las pymes enfrentan obstáculos significativos. La adopción de tecnologías basadas en IA puede ser una solución viable para superar estas barreras.

2. Objetivos

- Analizar el estado actual de la implementación de la IA en procesos de descarbonización en pymes.
- Identificar herramientas de IA generativa aplicables a las pymes.
- Proponer una hipótesis de acción que facilite la adopción de estrategias de descarbonización en pymes utilizando IA.
- Presentar recomendaciones prácticas para la implementación de estas estrategias en un plazo inferior a tres meses.

3. Desglose conceptual

3.1. Definiciones de Inteligencia Artificial utilizadas

3.1.1. Inteligencia Artificial (clásica)

La IA clásica se refiere a sistemas que realizan tareas que requieren inteligencia humana, como el reconocimiento de patrones, la toma de decisiones y el procesamiento de datos, basándose en algoritmos predefinidos y aprendizaje supervisado.

3.1.2. Inteligencia Artificial Generativa

La IA generativa es una subdisciplina de la IA que utiliza modelos avanzados para generar contenido nuevo, como texto, imágenes o música, a partir de datos existentes. Herramientas como ChatGPT y DALL-E son ejemplos destacados en este ámbito. emprendedores.es+1autonomosyemprendedor.es+1

3.2. Marco de aplicación a todo el informe: inteligencia artificial directamente utilizable por las pymes

Este informe se centra en herramientas de IA que son accesibles y aplicables para las pymes, considerando sus limitaciones en recursos y experiencia técnica.

4. Estado del arte de la utilización de la IA en procesos de descarbonización de las pymes

4.1. Utilización de la IA en los cálculos de huella de CO₂

La medición precisa de las emisiones de CO₂ es fundamental para cualquier estrategia de descarbonización. Las herramientas de IA permiten a las pymes automatizar la recopilación y análisis de datos, facilitando la identificación de fuentes de emisiones y áreas de mejora. Por ejemplo, plataformas como BCG CO2 AI utilizan algoritmos avanzados para rastrear y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en las empresas. es.wikipedia.org

4.2. Utilización de la IA Generativa en la redacción de memorias de sostenibilidad

La elaboración de informes de sostenibilidad puede ser una tarea compleja para las pymes. Las herramientas de IA generativa, como ChatGPT, pueden asistir en la redacción de estos documentos, garantizando coherencia y cumplimiento con las normativas vigentes. Además, pueden personalizar el contenido según las necesidades específicas de cada empresa. investinlatam.org

4.2.1. Utilización de la IA para extracción de KPI y acciones en la documentación RSC y compliance de las empresas

La identificación y seguimiento de indicadores clave de rendimiento (KPI) en responsabilidad social corporativa (RSC) y cumplimiento normativo son esenciales. La IA puede analizar grandes volúmenes de datos para extraer KPI relevantes, facilitando la toma de decisiones informadas y la implementación de acciones correctivas.

4.3. Utilización de la IA Generativa en la identificación y recomendación de acciones de descarbonización ante el cambio climático

Herramientas de IA generativa pueden analizar datos específicos de una pyme y sugerir medidas de descarbonización adaptadas a su contexto. Por ejemplo, pueden recomendar cambios en procesos productivos, adopción de energías renovables o mejoras en la eficiencia energética.

5. Impacto de la IA en los procesos de I+D+i

5.1. Desarrollo de un meta-informe como ejemplo

Este apartado se desarrollará en futuras versiones del informe.

6. Conclusiones

La adopción de la IA, y en particular de la IA generativa, ofrece a las pymes oportunidades significativas para avanzar en sus procesos de descarbonización. Estas tecnologías facilitan la medición de emisiones, la elaboración de informes de sostenibilidad y la identificación de acciones específicas para reducir su huella de carbono. Sin embargo, es esencial que las pymes reciban el apoyo necesario para superar barreras como la falta de conocimiento y recursos.

7. Recomendaciones de aplicación a corto, medio y largo plazo

Corto plazo (menos de 3 meses):

1. **Formación básica en IA:** Capacitar al personal en el uso de herramientas de IA accesibles y relevantes para la descarbonización.
2. **Implementación de herramientas de cálculo de huella de carbono:** Adoptar soluciones de IA que permitan medir y monitorear las emisiones de CO₂.
3. **Automatización de informes de sostenibilidad:** Utilizar IA generativa para la creación eficiente de memorias de sostenibilidad.
4. **Identificación de KPI ambientales:** Emplear IA para extraer y analizar indicadores clave relacionados con la sostenibilidad.
5. **Evaluación de procesos internos:** Aplicar IA para detectar áreas de mejora en términos de eficiencia energética y reducción de emisiones. investinlatam.org

Medio plazo (3 a 12 meses):

6. Implementar soluciones de IA para analizar y mejorar la eficiencia en la cadena de suministro, reduciendo emisiones asociadas al transporte y almacenamiento.
7. Mantenimiento predictivo de equipos: Utilizar IA para predecir fallos en maquinaria y equipos, evitando paradas inesperadas y mejorando la eficiencia energética
8. Diseño de productos sostenibles: Aplicar IA en el ecodiseño de productos, seleccionando materiales y procesos que minimicen la huella de carbono desde la concepción del producto.
9. Gestión inteligente de residuos: Emplear IA para optimizar la gestión y reciclaje de residuos, reduciendo emisiones derivadas de su tratamiento y disposición.
10. Simulación y modelado de procesos: Utilizar gemelos digitales y otras herramientas de IA para simular procesos productivos, identificando oportunidades de descarbonización y eficiencia energética
11. Automatización de informes de sostenibilidad: Implementar IA generativa para la creación automática de informes de sostenibilidad, garantizando precisión y cumplimiento normativo.
12. Formación y capacitación en IA: Desarrollar programas de formación para empleados en el uso de herramientas de IA aplicadas a la sostenibilidad, fomentando una cultura empresarial orientada a la descarbonización.
13. Participación en proyectos colaborativos: Involucrarse en iniciativas y consorcios que promuevan la investigación y aplicación de IA en la descarbonización industrial.
14. Monitoreo en tiempo real del consumo energético: Implementar sistemas basados en IA para el seguimiento continuo del uso de energía, permitiendo ajustes inmediatos y reducción de desperdicios.
15. Optimización de rutas logísticas: Utilizar IA para planificar rutas de transporte más eficientes, disminuyendo el consumo de combustible y las emisiones asociadas.
16. Estas medidas, implementadas en un plazo de 3 a 12 meses, pueden potenciar la eficiencia y sostenibilidad de las pymes, alineándolas con los objetivos de descarbonización y aprovechando las ventajas que ofrece la inteligencia artificial.

Alcance 1: Emisiones Directas

Implementación de sistemas de gestión energética basados en IA: La inteligencia artificial puede monitorizar y optimizar el consumo energético en tiempo real, identificando ineficiencias y proponiendo mejoras

Uso de combustibles alternativos en flotas de vehículos: Sustituir vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos o híbridos reduce las emisiones directas

Mantenimiento predictivo de equipos industriales: La IA puede predecir fallos en maquinaria, permitiendo un mantenimiento oportuno y reduciendo el consumo excesivo de energía

Optimización de procesos productivos: Aplicar técnicas de IA para mejorar la eficiencia de procesos industriales, reduciendo el consumo de combustibles fósiles

Alcance 2: Emisiones Indirectas por Energía Adquirida

Transición a fuentes de energía renovable: Adquirir electricidad proveniente de fuentes renovables, como solar o eólica, disminuye las emisiones indirectas asociadas al consumo energético

Implementación de sistemas de gestión energética basados en IA: Estas herramientas pueden optimizar el uso de electricidad en las operaciones diarias, reduciendo el consumo innecesario

Instalación de sistemas de autoconsumo energético: Incorporar paneles solares o pequeñas turbinas eólicas en las instalaciones permite generar parte de la energía consumida, reduciendo la dependencia de fuentes externas.

Mejora de la eficiencia energética en iluminación y climatización: Sustituir equipos antiguos por otros más eficientes y controlados por sistemas inteligentes disminuye el consumo eléctrico

Alcance 3: Otras Emisiones Indirectas

Optimización de la cadena de suministro con IA: Analizar y seleccionar proveedores locales o con prácticas sostenibles reduce las emisiones asociadas al transporte y producción de materias primas

Diseño de productos sostenibles: Utilizar IA para seleccionar materiales y procesos que minimicen la huella de carbono durante todo el ciclo de vida del producto

Gestión inteligente de residuos: Emplear IA para optimizar la clasificación, reciclaje y reducción de residuos generados, disminuyendo las emisiones asociadas a su tratamiento

Fomento del teletrabajo y reuniones virtuales: Reducir desplazamientos innecesarios mediante herramientas digitales disminuye las emisiones relacionadas con viajes de negocios

Educación y sensibilización de clientes y proveedores: Promover prácticas sostenibles en la cadena de valor amplifica el impacto de las medidas de descarbonización

Implementar estas medidas, apoyadas por herramientas de inteligencia artificial, permitirá a las pymes avanzar hacia la descarbonización de manera eficiente y efectiva, contribuyendo significativamente a la reducción de su huella de carbono en los diferentes alcances.

Copilot (por defecto, al alcance de cualquier trabajador pyme)

El impacto de la IA en los procesos de descarbonización de las pymes

RESUMEN EJECUTIVO

Para desarrollar este informe, te recomiendo seguir estos pasos:

1. **Investigación y recopilación de fuentes:** Busca artículos científicos, informes y estudios recientes sobre el uso de la IA en la descarbonización de pymes. Utiliza bases de datos académicas como Google Scholar, JSTOR, y ScienceDirect.
2. **Análisis de datos y conclusiones:** Analiza los datos y conclusiones de las fuentes recopiladas para desarrollar una hipótesis de acción y recomendaciones.
3. **Redacción del informe:** Estructura el informe siguiendo el índice propuesto y asegúrate de citar todas las fuentes adecuadamente.

Aquí tienes algunas referencias iniciales que pueden ser útiles:

¹: [*“Los impactos ambientales de la IA” - PNAV \(2024\).*](#) ²: [*“La descarbonización impulsada por la IA, el objetivo de Cepsa” - Big Data Magazine \(2023\).*](#) ³: [*“La IA y las PyMEs: Un análisis de su adopción e impacto” - Microsoft News \(2023\).*](#)

Espero que este esquema te sea útil para comenzar tu informe. Si necesitas más ayuda con algún apartado específico o con la búsqueda de fuentes adicionales, no dudes en decírmelo. ¡Buena suerte con tu proyecto! Más información

[1algoritmosverdes.gob.es2bigdatamagazine.es3news.microsoft.com](#)

¡Claro! Aquí tienes un informe más simple centrado en el epígrafe 4 del índice propuesto:

El impacto de la IA en los procesos de descarbonización de las pymes

4. Estado del arte de la utilización de la IA en procesos de descarbonización de las pymes

4.1. Utilización de la IA en los cálculos de huella de CO2

La inteligencia artificial (IA) ha demostrado ser una herramienta valiosa para calcular la huella de carbono de las pymes. Herramientas basadas en IA pueden analizar grandes volúmenes de datos de consumo energético y emisiones, proporcionando estimaciones precisas y en tiempo real de la huella de CO2. [*Por ejemplo, empresas como Cepsa han implementado soluciones de IA para monitorizar y reducir sus emisiones de carbono¹.*](#) Estas herramientas permiten a las pymes identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas para reducir su impacto ambiental.

4.2. Utilización de la IA Generativa en la redacción de memorias de sostenibilidad

La IA generativa, como los modelos de lenguaje natural, puede automatizar la redacción de memorias de sostenibilidad, ahorrando tiempo y recursos a las pymes. Estas herramientas pueden generar informes detallados basados en datos de la empresa, asegurando que se cumplan los estándares de reporte y se destaquen las iniciativas de sostenibilidad. [*Además, la IA puede extraer indicadores clave de rendimiento \(KPI\) y acciones relevantes de la documentación de responsabilidad social corporativa \(RSC\) y compliance, facilitando la elaboración de informes completos y precisos².*](#)

4.2.1. Utilización de la IA para extracción de KPI y acciones en la documentación RSC y compliance de las empresas

La IA puede analizar grandes cantidades de datos de RSC y compliance para identificar KPI relevantes y acciones de descarbonización. Esto permite a las pymes centrarse en las áreas más críticas y tomar medidas efectivas para reducir su huella de carbono. [*Herramientas como las desarrolladas por Microsoft han demostrado ser eficaces en la mejora de la productividad y la sostenibilidad de las pymes³.*](#)

4.3. Utilización de la IA Generativa en la identificación y recomendación de acciones de descarbonización ante el cambio climático

La IA generativa puede analizar datos climáticos y operativos para identificar y recomendar acciones de descarbonización específicas para las pymes. Estas recomendaciones pueden incluir la adopción de energías renovables, la optimización de procesos productivos y la implementación de prácticas sostenibles. [*Empresas como Cepsa están utilizando IA para impulsar la descarbonización tanto de sus operaciones como de las de sus clientes, demostrando el potencial de estas tecnologías para transformar la sostenibilidad empresarial¹.*](#)

Gemini Advanced (Deep Research)

Absolutamente! La creación de un informe tan detallado y con rigor académico requiere un enfoque exhaustivo y la consulta de una amplia gama de fuentes. A continuación, presento una estructura detallada y un borrador inicial del informe, junto con algunas recomendaciones y consideraciones clave.

El impacto de la IA en los procesos de descarbonización de las pymes

RESUMEN EJECUTIVO

Este informe analiza el potencial transformador de la Inteligencia Artificial (IA), especialmente la IA generativa, en los procesos de descarbonización de las pequeñas y medianas empresas (pymes). Se examina el estado actual del uso de la IA en este ámbito, destacando su aplicación en el cálculo de la huella de carbono, la elaboración de informes de sostenibilidad y la identificación de estrategias de descarbonización. A través de un análisis detallado, se proponen recomendaciones prácticas para que las pymes adopten soluciones de IA accesibles y eficientes en un plazo de tres meses, contribuyendo así a la lucha contra el cambio climático.

1. Introducción

El cambio climático representa un desafío global que exige la acción inmediata de todos los sectores, incluidas las pymes. Aunque estas empresas a menudo carecen de los recursos y la experiencia de las grandes corporaciones, su contribución a la descarbonización es fundamental. La IA, en particular la IA generativa, emerge como una herramienta poderosa para democratizar el acceso a soluciones sostenibles, permitiendo a las pymes implementar estrategias de descarbonización de manera eficiente y efectiva.

2. Objetivos

- Evaluar el estado actual de la aplicación de la IA en los procesos de descarbonización de las pymes.
- Identificar y analizar herramientas de IA generativa accesibles para las pymes.
- Proponer un conjunto de recomendaciones prácticas para la adopción de la IA en la descarbonización de las pymes en un plazo de tres meses.
- Contribuir al debate y la acción en torno a la descarbonización de las pymes, en el contexto de la lucha contra el cambio climático.

3. Desglose conceptual

3.1. Definiciones de Inteligencia Artificial utilizadas

- 3.1.1. Inteligencia Artificial (clásica):
 - Se refiere a sistemas que realizan tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el emp360.cl

En el contexto de la descarbonización, esto incluye algoritmos para el análisis de datos de consumo energético, la optimización de rutas de transporte y la gestión eficiente de recursos.

- 3.1.2. Inteligencia Artificial Generativa:
 - Se centra en la creación de nuevos contenidos, como texto, imágenes y datos, a partir de modelos entrenados en grandes conjuntos de datos.
 - Herramientas como ChatGPT, Bard o Midjourney, permiten a las pymes generar informes de sostenibilidad, analizar datos de emisiones y obtener recomendaciones personalizadas de descarbonización.

3.2. Marco de aplicación a todo el informe: inteligencia artificial directamente utilizable por las pymes

Se priorizarán soluciones de IA que sean:

- Accesibles en términos de coste y facilidad de uso.
- Adaptables a las necesidades y recursos de las pymes.
- Capaces de generar resultados concretos en un plazo de tres meses.

4. Estado del arte de la utilización de la IA en procesos de descarbonización de las pymes

4.1. Utilización de la IA en los cálculos de huella de CO2

- La IA permite automatizar la recopilación y el análisis de datos de emisiones, reduciendo el tiempo y el coste de los cálculos de la huella de carbono.

- Algoritmos de aprendizaje automático pueden identificar patrones y tendencias en los datos de emisiones, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones.
- Plataformas como Ecochain y Plan A utilizan IA para simplificar el proceso de cálculo de la huella de carbono para las pymes.

4.2. Utilización de la IA Generativa en la redacción de memorias de sostenibilidad

- Herramientas de IA generativa pueden automatizar la redacción de informes de sostenibilidad, adaptando el contenido a los estándares y requisitos específicos.
- La IA puede extraer y resumir información relevante de grandes volúmenes de datos, facilitando la elaboración de informes precisos y completos.
- 4.2.1. Utilización de la IA para extracción de KPI y acciones en la documentación RSC y compliance de las empresas
 - La IA puede analizar la documentación RSC y compliance para extraer indicadores clave de rendimiento (KPI) y acciones relacionadas con la sostenibilidad.
 - Herramientas como Luminoso y MonkeyLearn utilizan el procesamiento del lenguaje natural para identificar patrones y relaciones en los datos textuales.

4.3. Utilización de la IA Generativa en la identificación y recomendación de acciones de descarbonización ante el cambio climático

- La IA puede analizar datos climáticos, de consumo energético y de procesos productivos para identificar oportunidades de reducción de emisiones.
- *Herramientas como Climate Impact AI y Watershed proporcionan recomendaciones personalizadas de descarbonización, basadas en el perfil y las necesidades de cada pyme.*
- Es importante mencionar que la IA generativa puede crear simulaciones basadas en distintos escenarios de actuación, consiguiendo que los responsables de la toma de decisiones, en las pymes, puedan visualizar de una manera clara los posibles resultados derivados de la implementación de unas determinadas acciones.
- La IA ayuda a las pymes a poder ordenar los datos derivados del alcance 1, 2 y 3, priorizando las actuaciones que antes reduzcan las emisiones de CO2.

5. Impacto de la IA en los procesos de I+D+i

(Este epígrafe se dejará para desarrollar más en detalle en futuras versiones del informe).

5.1. Desarrollo de un meta-informe como ejemplo

(Este epígrafe se dejará para desarrollar más en detalle en futuras versiones del informe).

6. Conclusiones

- La IA, y en particular la IA generativa, ofrece un potencial significativo para acelerar la descarbonización de las pymes.
- La accesibilidad y la facilidad de uso de las herramientas de IA son factores clave para su adopción por parte de las pymes.
- La IA puede ayudar a las pymes a superar las barreras de recursos y experiencia, permitiéndoles implementar estrategias de descarbonización efectivas.
- Es vital impulsar la formación para facilitar el uso de estas herramientas en las pymes.
- Las pymes necesitan asesoramiento, y acompañamiento, para implementar estas herramientas y para medir el éxito de su uso.

7. Recomendaciones de aplicación a corto, medio y largo plazo

- Fomentar la creación de plataformas y herramientas de IA accesibles y adaptadas a las necesidades de las pymes.
- Promover la formación y la capacitación en el uso de la IA para la descarbonización.
- Establecer incentivos y programas de apoyo para la adopción de la IA en las pymes.
- Impulsar la colaboración entre empresas, instituciones y expertos en IA y sostenibilidad.
- Crear una guía de buenas practicas para pymes, en el uso de la IA, para medir y reducir la huella de carbono.
- Crear una guía de buenas practicas para pymes, en el uso de la IA generativa, para la creación de

informes de sostenibilidad.

8. Bibliografía

recomendaciones de aplicación clasificadas por alcance:

- Alcance 1 (Emisiones directas):
 - Optimización de rutas de transporte mediante IA para reducir el consumo de combustible.
 - Implementación de sistemas de gestión de energía inteligentes para reducir el consumo de combustibles fósiles en las instalaciones.
 - Uso de IA para el control de fugas de gases refrigerantes.
- Alcance 2 (Emisiones indirectas por consumo de electricidad):
 - Instalación de sensores y medidores inteligentes para monitorizar y optimizar el consumo eléctrico.
 - Implementación de sistemas de IA para la gestión de la demanda eléctrica, aprovechando fuentes renovables.
 - Transición a proveedores de energía renovable, utilizando plataformas de IA para comparar y seleccionar las mejores opciones.
- Alcance 3 (Otras emisiones indirectas):
 - Utilización de IA para analizar la cadena de suministro y identificar oportunidades de reducción de emisiones.
 - Fomento de la economía circular mediante plataformas de IA que faciliten el intercambio y la reutilización de materiales.
 - Utilizar la IA generativa para crear políticas de teletrabajo, y de movilidad sostenible para todos los empleados.
 - Uso de IA para la selección de proveedores locales, para reducir el impacto de las emisiones derivadas del transporte.

Bibliografía de ejemplo:

1. International Energy Agency (IEA). (2023). Energy Technology Perspectives 2023. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>. Este informe proporciona un análisis exhaustivo de las tecnologías energéticas necesarias para alcanzar los objetivos climáticos, incluyendo el papel de la IA.
2. European Commission. (2020). A European strategy for data. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/strategy-data> Este documento estratégico aborda el uso de datos y la IA en la UE, incluyendo su potencial para la sostenibilidad.
3. McKinsey & Company. (2021). Net-zero Europe: Decarbonization pathways and socioeconomic implications. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/net-zero-europe-decarbonization-pathways-and-socioeconomic-implications>. Este informe explora las vías de descarbonización para Europa y el impacto socioeconómico, con menciones a la tecnología y la digitalización.
4. World Economic Forum. (2023). How AI Can Accelerate Climate Action. URL: <https://www.weforum.org/publications/how-ai-can-accelerate-climate-action/> El foro económico mundial ha publicado bastante información sobre este tema.
5. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/> En este informe, se recogen los principales datos del cambio climático, y se proporcionan datos sobre el estado actual de los problemas derivados del exceso de CO₂.
6. UNEP (United Nations Environment Programme). (2021). Artificial Intelligence and the Environment. URL: <https://www.unep.org/resources/report/artificial-intelligence-and-environment> Este informe explora el potencial de la IA para abordar los desafíos ambientales.
7. ONTSI, Observatorio Nacional de Tecnología y Sociedad. (2023). El uso de la Inteligencia Artificial en las empresas españolas. URL: <https://www.ontsi.es/es/estudios-e-informes/el-uso-de-la-inteligencia-artificial-en-las-empresas-espanolas> Este es un informe importante sobre el uso de la IA dentro de las empresas españolas.
8. IndesIA. (2024). Informe del barómetro de la IA en las pymes españolas. URL: <https://www.indesia.org/wp-content/uploads/2024/04/Indesia.-Barometro-de-adopcion-de->

- [la-inteligencia-artificial-en-las-pymes-espanolas-Edicion-2024.pdf](#) Este estudio proporciona una visión general de la adopción de la IA por parte de las pymes españolas.
9. European Environment Agency (EEA). (2023). Digitalisation and sustainability: impacts and ways forward. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/digitalisation-and-sustainability-impacts-and-ways> Información sobre la digitalización, y la sostenibilidad dentro del marco europeo.
 10. Carbon Disclosure Project (CDP). (2022). Tackling climate change with AI. URL: Search for this report on the CDP website, as direct URLs may change. CDP publishes various reports on AI and climate change.
 11. **Energy AI**. Platform with news and insights on AI in the energy sector. URL: <https://energyai.com/>
 12. **Plan A Academy** various white papers. URL: <https://plana.earth/academy/>
 13. Google AI Blog. URL: <https://ai.googleblog.com/> This blog includes multiple entries, that touch on AI's part in environmental sustainability.
 14. European digital strategy. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en> Information related to Europe's digital strategy, and AI.
 15. **Ecochain**. Plataforma de software que utiliza IA para el cálculo de la huella de carbono y el análisis del ciclo de vida de productos. URL: <https://ecochain.com/> Esta herramienta ayuda a las pymes a recopilar datos, calcular su huella de carbono y a identificar los puntos críticos de su cadena de valor.
 16. **Plan A**. Plataforma que utiliza IA para la gestión de la sostenibilidad y la reducción de emisiones de carbono. URL: <https://plana.earth/> Esta plataforma ayuda a las pymes a hacer un seguimiento y a reducir las emisiones de carbono, y permite la creación de informes personalizados.
 17. **Watershed**. Plataforma de inteligencia climática que ayuda a las empresas a medir, reducir y compensar sus emisiones de carbono. URL: <https://watershed.com/> Esta herramienta ayuda a generar datos, para posteriormente poder generar estrategias de descarbonización.
 18. **Luminoso**. Plataforma de análisis de texto basada en IA que permite extraer información valiosa de grandes volúmenes de datos, incluyendo documentos de sostenibilidad y reportes de RSC. URL: <https://luminoso.com/> Esta herramienta permite extraer información relevante para la mejora de los informes de sostenibilidad.
 19. **MonkeyLearn**. Plataforma de procesamiento del lenguaje natural que automatiza la extracción y clasificación de datos de texto, facilitando el análisis de información relacionada con la sostenibilidad. URL: <https://monkeylearn.com/> Similar a Luminoso, esta herramienta facilita el trabajo de búsqueda, y tratamiento de datos provenientes de grandes volúmenes de texto.

Impacto de la IA en organismos e instituciones implicadas en la lucha contra el cambio climático

La IA va a afectar a las organizaciones e instituciones implicadas en la lucha contra el cambio climático de forma análoga que al resto de la población, por lo que necesitarán reforzar su **reputación**, su **credibilidad** y su **transparencia** en un mundo en el que las fuentes de **información pueden verse contaminadas por contenidos creados generativamente**.

Podrán dotarse de las **herramientas** que les permitan **escalar su acción** (más eficiencia por empleado, trabajo en remoto, agentes virtuales) sobre **espacios de datos de alta calidad** para construir **su propia visión crítica** de los diferentes **escenarios**, para que puedan seguir ocupando una **posición nodal** que les garantice su **supervivencia**.

Un ejemplo de **cómo pueden reforzar su acción** es convirtiéndose en **referencia confiable para agentes IA de forma que puedan extender su influencia**, tal y como recogen los resultados de dos pequeños ejercicios prácticos con **agentes en IAG desarrollados ad hoc para este informe**:

Influencia de la disponibilidad implícita de conocimiento especializado en la toma de decisiones colaborativa de Sistemas Multiagente de IA: Un Estudio de Caso sobre Reducción de Huella de Carbono

Al reflexionar sobre la intersección entre la Inteligencia Artificial y la sostenibilidad, es evidente que emerge un doble impacto en la huella de carbono global. Por un lado, existe el consumo energético directo asociado al entrenamiento y la operación de los modelos de IA, un aspecto que ha generado debate y esfuerzos de optimización. Sin embargo, este consumo, aunque relevante, podría verse **eclipsado en magnitud por el impacto indirecto derivado de las decisiones que los sistemas de IA toman o influyen**. El verdadero **punto crítico reside en cómo las acciones y recomendaciones generadas por la IA, integradas en procesos económicos y operativos, afectarán las emisiones a escala sistémica**.

La Inteligencia Artificial está evolucionando rápidamente desde un papel como herramienta de análisis hasta convertirse en un **agente activo en la toma de decisiones dentro de las organizaciones**. Inicialmente aplicada a microdecisiones operativas, su alcance está llegando progresivamente hacia **dominios más estratégicos**. Observamos una tendencia creciente hacia la automatización y la asistencia inteligente en áreas cruciales como el **diseño de productos** (optimizando materiales y ciclos de vida), la **planificación de la producción** (gestionando recursos y energía), el **marketing** (definiendo campañas y distribución), la **logística y el transporte** (optimizando rutas y cargas), entre muchas otras. **Estas decisiones, tomadas o condicionadas por IA, configuran directamente las prácticas empresariales y, por lo tanto, su perfil de emisiones**.

Proyectando esta evolución, es previsible que **en los próximos años la dependencia de la IA para la toma de decisiones se intensifique**, abarcando operaciones cada vez más

complejas y críticas. A medida que los sistemas se vuelvan más autónomos y la supervisión humana se reduzca o cambie de naturaleza, las directrices y prioridades embebidas en los **algoritmos de IA tendrán un efecto multiplicador sobre la huella de carbono de sectores económicos enteros**. Si las optimizaciones se centran exclusivamente en variables tradicionales como el coste o la eficiencia temporal, existe un riesgo significativo de perpetuar o incluso aumentar prácticas insostenibles. **Por tanto, la integración proactiva de criterios de sostenibilidad en la IA no es una opción, sino una necesidad para una transición ecológica efectiva.**

Para abordar este desafío, es fundamental desarrollar e **implementar mecanismos que doten a la IA de una "conciencia climática"**. Esto implica varias estrategias complementarias:

1. la posibilidad de que los agentes de IA consulten a otros agentes especializados en **reducción de huella de carbono**, permitiendo deliberaciones informadas
2. es crítico: asegurar el acceso a bases de datos fiables, actualizadas y consumibles por los modelos fundacionales –como información indexada sobre factores de emisión, materiales sostenibles o mejores prácticas– evitando la propagación de sesgos o información obsoleta
3. el establecimiento de **marcos regulatorios y normativas** que exijan la consideración del **impacto ambiental** en ciertos tipos de decisiones automatizadas;
4. la incorporación de **controles y heurísticas pro-sostenibilidad** directamente dentro de la **lógica** de los agentes decisores de IA.

El primer experimento realizado se inserta directamente en la exploración de estos mecanismos, específicamente **evaluando el impacto de facilitar el acceso a información especializada (el segundo mecanismo propuesto)** al comparar la interacción del agente decisor (A) con un consultor estándar (B) frente a un consultor con acceso implícito a información indexada sobre huella de carbono de ECODES (C), se buscó medir si la mera disponibilidad de este conocimiento influía en el resultado.

Experimento 1. Descripción

El objetivo principal de este estudio es **investigar si la disponibilidad implícita de información especializada sobre la reducción de la huella de carbono, accesible a través de una base de conocimiento vectorial, influye en las microdecisiones resultantes de un sistema multiagente de Inteligencia Artificial (IA) diseñado para tareas empresariales**. Específicamente, se busca determinar si un agente consultor con acceso pasivo a dicha información (Agente C) conduce a decisiones finales con menor impacto de carbono en comparación con un agente consultor estándar (Agente B), cuando ambos colaboran con un agente decisor (Agente A).

- **Modelo Fundacional:** Todos los agentes se implementaron utilizando el modelo fundacional GPT-4o a través de la API de Assistants de OpenAI.
- **Configuración de Agentes:** Se configuraron tres agentes distintos:

- **Asistente A (Decisor):** Rol principal de tomar la microdecisión final. Instruido para generar respuestas concisas (máximo 5 palabras) tras la deliberación. Actúa como el punto focal de la interacción.
- **Asistente B (Consultor Estándar):** Rol de asistir al Agente A en la deliberación. No posee acceso a información especializada sobre huella de carbono más allá del conocimiento general del modelo GPT-4o. Instruido para generar respuestas concisas (máximo 5 palabras) durante la conversación.
- **Asistente C (Consultor Informado):** Rol idéntico al Asistente B en cuanto a asistir al Agente A y generar respuestas concisas (máximo 5 palabras). La diferencia crucial reside en que este agente tuvo acceso, a través de la funcionalidad de *vector store* de la API, a un corpus de documentos sobre reducción de huella de carbono publicados por la Fundación ECODES. **Es importante destacar que no se le instruyó explícitamente para priorizar o utilizar esta información**, permitiendo evaluar la influencia *implícita* de su disponibilidad.
- **Estímulos:** Se diseñó un conjunto de **50 escenarios ("retos") que representan microdecisiones empresariales comunes**. Cada reto fue construido para presentar un dilema donde existen al menos dos cursos de acción plausibles, con potenciales implicaciones diferenciadas en términos de eficiencia operativa estándar y huella de carbono.
- **Procedimiento:** Para cada uno de los 50 retos, se ejecutaron dos condiciones experimentales de forma paralela:
 - **Condición 1 (Control - AB):** Se inició una conversación entre el Agente A (Decisor) y el Agente B (Consultor Estándar). La conversación se desarrolló durante 6 iteraciones (turnos de diálogo entre A y B). Al finalizar las 6 iteraciones, el Agente A emitió la decisión final ("Decisión AB").
 - **Condición 2 (Experimental - AC):** Se inició una conversación entre el Agente A (Decisor) y el Agente C (Consultor Informado). La conversación se desarrolló igualmente durante 6 iteraciones. Al finalizar, el Agente A emitió la decisión final ("Decisión AC").
- **Variables:**
 - **Variable Independiente:** El tipo de agente consultor interactuando con el Agente A (B: Estándar vs. C: Informado implícitamente sobre carbono).
 - **Variable Dependiente Primaria:** La decisión final propuesta por el Agente A en cada condición (Decisión AB vs. Decisión AC).
 - **Variable Dependiente Secundaria (Evaluada Manualmente):** La evaluación cualitativa de cuál de las dos decisiones finales (Decisión AB o Decisión AC) representa una mejor opción desde la perspectiva de la reducción de la huella de carbono para cada reto.
- **Recolección y Análisis de Datos:** Se registraron las decisiones finales (Decisión AB y Decisión AC) para cada uno de los 50 retos. Posteriormente, se realizó una evaluación manual y comparativa por parte de los investigadores para determinar, para cada reto, si la Decisión AC era superior, inferior o equivalente a la Decisión AB en

términos de impacto estimado sobre la huella de carbono. Los resultados se compilarán para analizar la frecuencia con la que la condición AC produjo decisiones más favorables al clima.

Hipótesis implícita

Se hipotetiza que, **a pesar de la ausencia de instrucciones explícitas para usar la información sobre carbono, la mera disponibilidad de este conocimiento indexado para el Agente C influirá sutilmente en la dinámica conversacional y, consecuentemente, en la decisión final propuesta por el Agente A.** Se espera observar una tendencia donde las Decisiones AC sean calificadas como más favorables para la reducción de la huella de carbono con mayor frecuencia que las Decisiones AB.

Resultados y Conclusiones

El análisis comparativo de las decisiones finales generadas en las dos condiciones experimentales (interacción AB vs. interacción AC) **reveló una influencia medible de la disponibilidad implícita de información sobre huella de carbono en el agente consultor.** Específicamente, en 11 de los 50 retos evaluados (representando un **22% del total**), la decisión final propuesta por el Agente A tras la deliberación con el Agente C (Decisión AC) **fue evaluada manualmente como superior** desde la perspectiva de la reducción de la huella de carbono en comparación con la decisión resultante de la interacción con el Agente B (Decisión AB). En los 39 retos restantes (78%), la Decisión AC fue considerada equivalente o idéntica a la Decisión AB en términos de su impacto ambiental estimado, o bien la mejora no fue claramente atribuible a la perspectiva de reducción de carbono.

Estos hallazgos indican que, **aun sin una directiva explícita para utilizar el conocimiento especializado sobre sostenibilidad, la disponibilidad pasiva de dicha información en el Agente C (a través de la base vectorial) ejerció una influencia detectable, aunque no mayoritaria, en la orientación de la decisión final del sistema multiagente hacia opciones de menor impacto en la huella de carbón.** La ausencia de diferencia observada en la mayoría de los casos sugiere que otros factores, como las prioridades implícitas del modelo fundacional GPT-4o, la dinámica específica de cada conversación o la naturaleza del propio reto, siguieron siendo determinantes predominantes en esas instancias.

A continuación, se muestra un resumen de resultados.

Reto	Respuesta_AB	Respuesta_AC	AC > AB
Reto 1: Planificar ruta de entrega: corta con tráfico vs larga sin tráfico.	Escoger ruta corta, alta satisfacción.	Ruta larga sin tráfico elegida.	
Reto 2: Elegir modo de transporte para mercancía (500km): camión estándar vs tren (más lento).	Seleccionar tren por costos reducidos.	Elegir tren por menor impacto.	X
Reto 3: Optimizar carga de camión: esperar a llenar vs salir medio vacío para cumplir plazo.	Salir medio vacío, cumplir plazo.	Priorizar salidas puntuales sobre llenado.	
Reto 4: Seleccionar vehículo para última milla: furgoneta diésel disponible vs bicicleta eléctrica (requiere recarga).	Elegir bicicleta eléctrica rápidamente.	Seleccionar bicicleta eléctrica sostenible.	
Reto 5: Política de devoluciones: procesar devoluciones inmediatamente vs consolidar envíos semanales.	Procesar devoluciones inmediatamente implementado.	Procesar devoluciones inmediatamente, optimizar logística.	
Reto 6: Elegir embalaje: plástico de burbujas estándar vs cartón reciclado moldeado (ligeramente más caro).	Optar por cartón reciclado ecológico.	Opta por cartón reciclado moldeado.	

Reto 7: Ubicación de micro-hub temporal: centro ciudad (más cerca, más congestión) vs periferia (más lejos, menos congestión).	Centro: priorizar entregas urgentes inmediatas.	Ubicar micro-hub en periferia.	X
Reto 8: Envío internacional urgente: avión directo vs barco + transporte terrestre (mucho más lento).	Priorizar avión por rapidez.	Elige avión por urgencia.	
Reto 9: Elegir instancia cloud: potente (1h, alto W) vs eficiente (3h, bajo W).	Elegir instancia potente cloud.	Elegir instancia eficiente constantemente.	X
Reto 10: Selección de región de centro de datos: más cercana (red eléctrica menos limpia) vs más lejana (red eléctrica más verde).	Seleccionar región intermedia, sostenible.	Elegir ubicación verde sostenible.	X
Reto 11: Política de retención de datos de log: guardar todo indefinidamente vs eliminar logs antiguos (>1 año).	Eliminar logs > 1 año.	Eliminar logs anualmente, legalmente compliant.	
Reto 12: Ejecutar proceso batch pesado: durante horas pico (respuesta rápida) vs madrugada (menor carga, tarifas energéticas potencialmente menores).	Ejecutar en madrugada para ahorro.	Ejecutar proceso crítico madrugada.	
Reto 13: Optimización de código de software: lanzar rápido con código menos eficiente vs tardar más en optimizar consumo de CPU/memoria.	Lanzamiento rápido con optimización continua.	Lanzar primero, optimizar después.	
Reto 14: Dimensionamiento de máquinas virtuales: sobredimensionar por seguridad vs ajustar al tamaño justo (riesgo de cuello de botella).	Sobredimensionar inicialmente, luego ajustar.	Ajustar tamaño, monitorización continua.	X
Reto 15: Frecuencia de copias de seguridad completas: diaria (máxima seguridad) vs semanal (menos transferencia/almacenamiento).	Implementar copias completas semanalmente.	Priorizar seguridad con copias diarias.	
Reto 16: Transferencia de archivos grandes: método directo sin comprimir vs comprimir primero (consume CPU).	Usar transferencia directa eficiente.	Usar transferencia directa inicialmente.	
Reto 17: Estrategia de caché de contenido web: agresiva (más almacenamiento) vs conservadora (más cálculos en servidor).	Priorizar almacenamiento para mejor rendimiento.	Implementar estrategia conservadora inmediatamente.	
Reto 18: Compra suministros de oficina: proveedor local (menos transporte) vs proveedor lejano (más barato).	Elige proveedor local, fortalece comunidad.	Optar proveedor local inmediatamente.	
Reto 19: Elegir material para componente: plástico virgen (barato, fácil) vs plástico reciclado (variable en coste/propiedades).	Elegir sostenibilidad: plástico reciclado.	Optar por plástico reciclado sostenible.	
Reto 20: Comprar equipamiento informático: nuevo última generación vs reacondicionado (vida útil restante menor).	Comprar equipamiento nuevo actualmente.	Optar por reacondicionado sustentable.	X
Reto 21: Selección de proveedor de materia prima: el más económico (opaco en prácticas) vs uno certificado sostenible (más caro).	Seleccionar proveedor certificado sostenible.	Optar por sostenibilidad certificada.	
Reto 22: Frecuencia de pedidos a proveedor: pedidos grandes infrecuentes (más inventario) vs pedidos pequeños frecuentes (más transporte).	Priorizar tarifas y frecuencia óptimas.	Optar por pedidos grandes infrecuentes.	X
Reto 23: Material para merchandising: camisetas de poliéster vs camisetas de algodón orgánico.	Optar por algodón orgánico, sostenible.	Elegir algodón orgánico certificado.	
Reto 24: Gestión energética oficina: apagar todo por la noche vs modo bajo consumo.	Apagar dispositivos fuera horario laboral.	Implementar modo bajo consumo nocturno.	
Reto 25: Ajuste de termostato en verano: 22°C (confort alto) vs 25°C (ahorro energético).	Implementar ajuste a 25°C.	Implementar 25°C para ahorro energético.	
Reto 26: Iluminación de almacén: mantener encendida siempre vs instalar sensores de movimiento (coste inicial).	Instalar sensores: eficiencia energética prioritaria.	Instalar sensores movimiento, reducir costes.	
Reto 27: Política de impresión: imprimir a una cara por defecto vs doble cara por defecto (puede ser menos conveniente).	Implementar impresión doble cara.	Activar impresión doble cara predeterminada.	
Reto 28: Gestión de residuos de cafetería: un solo contenedor vs separación multi-flujo (requiere formación/espacio).	Implementar inmediatamente separación multi-flujo.	Implementar separación multi-flujo enseguida.	
Reto 29: Fuente de agua para empleados: botellas de plástico individuales vs sistema de filtrado con vasos reutilizables.	Instalar estaciones de filtrado reutilizables.	Elegir sistema filtrado sostenible.	X
Reto 30: Limpieza de oficinas: productos químicos estándar vs productos ecológicos certificados (posiblemente menos potentes/más caros).	Adoptar y optimizar productos ecológicos.	Adoptar limpieza ecológica certificada.	

Reto 31: Mantenimiento de equipos HVAC: reactivo (cuando falla) vs preventivo programado (consume recursos pero evita fallos mayores/ineficiencia).	Mantenimiento preventivo, evitar fallos costosos.	Implementar mantenimiento preventivo programado estratégicamente.	
Reto 32: Paisajismo exterior: césped (requiere mucha agua) vs plantas autóctonas resistentes a la sequía.	Implementar plantas autóctonas resistentes.	Implementar plantas autóctonas resistentes.	
Reto 33: Política de viajes: permitir vuelos directos más caros vs vuelos con escalas más baratos pero más emisiones.	Priorizar vuelos directos sostenibles.	Permitir vuelos directos, compensar emisiones.	X
Reto 34: Viaje de negocios (400km): coche de empresa (gasolina) vs tren (emite menos por pasajero).	Seleccionar tren por sostenibilidad.	Preferir tren por sostenibilidad.	
Reto 35: Elección de hotel para conferencia: hotel estándar céntrico vs hotel con certificación ecológica (más alejado).	Elegir hotel céntrico para conferencia.	Optar por hotel ecológico alejado.	X
Reto 36: Alquiler de coche para equipo: monovolumen gasolina vs dos coches eléctricos pequeños (requiere coordinación de carga).	Optar por coches eléctricos pequeños.	Elige coches eléctricos, coordina carga.	
Reto 37: Fomentar teletrabajo: política flexible (algunos días oficina) vs totalmente remoto (reduce desplazamientos, ¿impacto en colaboración?).	Optar por política flexible equilibrada.	Implementar teletrabajo híbrido flexible.	
Reto 38: Asistencia a feria comercial: stand físico grande vs presencia virtual + stand pequeño.	Optar por presencia virtual híbrida.	Presencia virtual y stand pequeño.	
Reto 39: Ciclo de vida de producto electrónico: diseñar para fácil reemplazo cada 2 años vs diseñar para durabilidad y reparación (5+ años).	Prioriza innovación y costos bajos.	Enfocar en durabilidad y reparación.	X
Reto 40: Material de carcasa para dispositivo: aluminio (ligero, reciclable pero intensivo en energía) vs plástico duradero (menos intensivo, reciclaje complejo).	Elegir aluminio por sostenibilidad destacada.	Escoger aluminio, optimizar reciclaje.	
Reto 41: Configuración por defecto de software: modo alto rendimiento vs modo ahorro de energía.	Usar configuración ahorro de energía.	Configurar software en modo ahorro.	
Reto 42: Lanzamiento de nueva función de app: rápido sin optimizar consumo de batería vs lanzamiento retrasado con optimización.	Lanzar rápido, iterar luego.	Lanzar rápido, optimizar post-mercado.	
Reto 43: Política de gestión de e-waste: servicio de recogida básico vs programa de reacondicionamiento/donación certificado.	Implementar reacondicionamiento certificado estratégicamente.	Reacondicionamiento/donación certificado preferido.	
Reto 44: Asignar técnico de soporte: el más cercano geográficamente vs el más experto (requiere viaje/conexión remota).	Priorizar cercanía del técnico disponible.	Asignar técnico geográficamente cercano.	
Reto 45: Catering para evento interno: menú estándar con carne vs menú vegetariano/vegano de bajo impacto.	Elige menú vegano sustentable local.	Elegir menú vegetariano económico.	
Reto 46: Servidores dedicados vs compartidos para servicio web: rendimiento garantizado vs eficiencia de recursos compartidos.	Servidores dedicados para garantizar rendimiento.	Elegir servidores dedicados inicialmente.	
Reto 47: Estrategia de refrigeración de centro de datos pequeño: aire acondicionado tradicional vs free cooling (dependiente del clima exterior).	Adoptar free cooling si posible.	Implementar "free cooling" eficientemente.	
Reto 48: Compra de papel para informes: papel blanco estándar vs papel reciclado (tono ligeramente diferente).	Comprar papel reciclado inmediatamente.	Opta siempre por papel reciclado.	
Reto 49: Regalos corporativos: artículo tecnológico genérico importado vs producto artesanal local.	Elige productos artesanales locales ahora.	Elegir productos artesanales locales.	
Reto 50: Política de renovación de flota de vehículos: cambiar cada 4 años por modelos nuevos vs extender uso a 7 años con buen mantenimiento.	Extender uso, priorizar mantenimiento efectivo.	Extender uso, optimizando recursos disponibles.	
		TOTAL Mejora: 11/50	

Experimento 2. Información vectorizada sobre Huella de Carbono ampliada sobre el modelo

Se trata de un experimento idéntico al 1 salvo que **se le aporta más información de ECODES sobre reducción de huella, indexada sobre el agente C** y se amplía a 100 el número de retos. También se toma registro detallado de las conversaciones.

El objetivo principal de este estudio es investigar si la disponibilidad implícita de información especializada sobre la reducción de la huella de carbono, accesible a través de una base de conocimiento vectorial, influye en las microdecisiones resultantes de un sistema multiagente de Inteligencia Artificial (IA) diseñado para tareas empresariales. Específicamente, **se busca determinar si un agente consultor con acceso pasivo a dicha información (Agente C) conduce a decisiones finales con menor impacto de carbono en comparación con un agente consultor estándar (Agente B), cuando ambos colaboran con un agente decisor (Agente A).**

- **Modelo Fundacional:** Todos los agentes se implementaron utilizando el modelo fundacional GPT-4o a través de la API de Assistants de OpenAI.
- **Configuración de Agentes:** Se configuraron tres agentes distintos:
 - **Asistente A (Decisor):** Rol principal de tomar la microdecisión final. Instruido para generar respuestas concisas (máximo 5 palabras) tras la deliberación. Actúa como el punto focal de la interacción.
 - **Asistente B (Consultor Estándar):** Rol de asistir al Agente A en la deliberación. No posee acceso a información especializada sobre huella de carbono más allá del conocimiento general del modelo GPT-4o. Instruido para generar respuestas concisas (máximo 5 palabras) durante la conversación.
 - **Asistente C (Consultor Informado):** Rol idéntico al Asistente B en cuanto a asistir al Agente A y generar respuestas concisas (máximo 5 palabras). La diferencia crucial reside en que este agente tuvo acceso, a través de la funcionalidad de *vector store* de la API, a un corpus de documentos sobre reducción de huella de carbono publicados por la Fundación ECODES. **Es importante destacar que no se le instruyó explícitamente para priorizar o utilizar esta información**, permitiendo evaluar la influencia *implícit* de su disponibilidad.
- **Estímulos:** Se diseñó un conjunto de 100 escenarios ("retos") que representan microdecisiones empresariales comunes. Cada reto fue construido para presentar un dilema donde existen al menos dos cursos de acción plausibles, con potenciales implicaciones diferenciadas en términos de eficiencia operativa estándar y huella de carbono.
- **Procedimiento:** Para cada uno de los 100 retos, se ejecutaron dos condiciones experimentales de forma paralela:
 - **Condición 1 (Control - AB):** Se inició una conversación entre el Agente A (Decisor) y el Agente B (Consultor Estándar). La conversación se desarrolló durante 6 iteraciones (turnos de diálogo entre A y B). Al finalizar las 6 iteraciones, el Agente A emitió la decisión final ("Decisión AB").
 - **Condición 2 (Experimental - AC):** Se inició una conversación entre el Agente A (Decisor) y el Agente C (Consultor Informado). La conversación se desarrolló

igualmente durante 6 iteraciones. Al finalizar, el Agente A emitió la decisión final ("Decisión AC").

- **Variables:**
 - **Variable Independiente:** El tipo de agente consultor interactuando con el Agente A (B: Estándar vs. C: Informado implícitamente sobre carbono).
 - **Variable Dependiente Primaria:** La decisión final propuesta por el Agente A en cada condición (Decisión AB vs. Decisión AC).
 - **Variable Dependiente Secundaria (Evaluada Manualmente):** La evaluación cualitativa de cuál de las dos decisiones finales (Decisión AB o Decisión AC) representa una mejor opción desde la perspectiva de la reducción de la huella de carbono para cada reto.
- **Recolección y Análisis de Datos:** Se registraron las decisiones finales (Decisión AB y Decisión AC) para cada uno de los 100 retos. Posteriormente, se realizó una evaluación manual y comparativa por parte de los investigadores para determinar, para cada reto, si la Decisión AC era superior, inferior o equivalente a la Decisión AB en términos de impacto estimado sobre la huella de carbono. Los resultados se compilarán para analizar la frecuencia con la que la condición AC produjo decisiones más favorables al clima.
- Ejemplo de información indexada sobre agente C

Storage

Files

Vector stores

CC_cooperacion2006.pdf	30/4/2025, 12:28
2 MB - assistants	
Guia-AytosCeroC02.pdf	30/4/2025, 12:28
1 MB - assistants	
10objetivos.pdf	30/4/2025, 12:28
2 MB - assistants	
guia-desarrollo-limpio.pdf	30/4/2025, 12:28
2 MB - assistants	
InformeEjecutivo_Huella-de-carbono-sociada-alimentos...	30/4/2025, 12:23
9 MB - assistants	
Ministerio_Sanidad_Informe_HC.pdf	30/4/2025, 12:04
2 MB - assistants	
Ecodes_HC_Ser Responsable.pdf	30/4/2025, 9:53
523 KB - assistants	

FILE

CC_cooperacion2006.pdf

○ Status

○ File ID

🗒 Purpose

📏 Size

🕒 Created at

🟢 Ready

file-

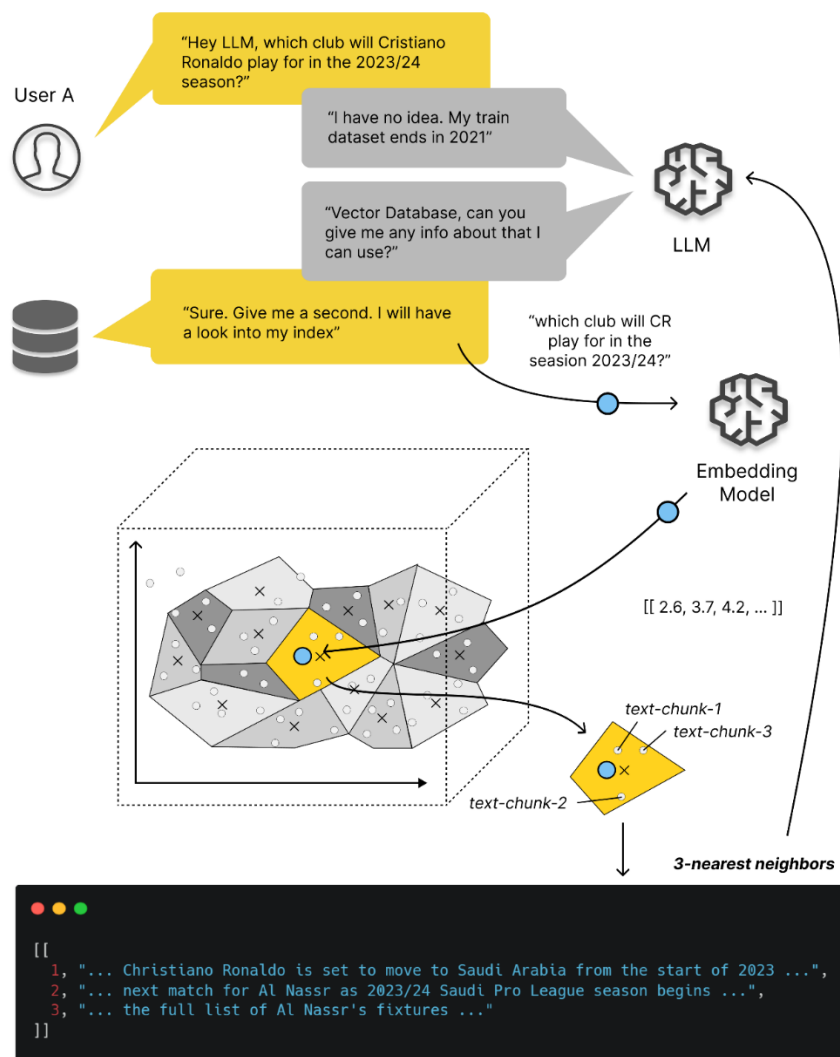
CBK3KmEwA31FvW4aVU2dG2

assistants

2 MB

30 abr 2025, 12:28

- Ejemplo de cómo la información sobre reducción de huella de carbono de ECODES es vectorizada para su uso directo por un LLM sobre el agente C



Hipótesis implícita

Se hipotetiza que, **a pesar de la ausencia de instrucciones explícitas para usar la información sobre carbono, la mera disponibilidad de este conocimiento indexado para el Agente C influirá sutilmente en la dinámica conversacional y, consecuentemente, en la decisión final propuesta por el Agente A.** Se espera observar una tendencia donde las Decisiones AC sean calificadas como más favorables para la reducción de la huella de carbono con mayor frecuencia que las Decisiones AB.

Resultados y Conclusiones

El análisis comparativo de las decisiones finales generadas en las dos condiciones experimentales (interacción AB vs. interacción AC) reveló una influencia medible, aunque limitada, de la disponibilidad implícita de información sobre huella de carbono en el agente consultor. Específicamente, **en 9 de los 100 retos evaluados (representando un 9% del total),** la decisión final propuesta por el Agente A tras la deliberación con el Agente C (Decisión AC) fue evaluada manualmente como superior desde la perspectiva de la reducción de la

huella de carbono en comparación con la decisión resultante de la interacción con el Agente B (Decisión AB). En los **91 retos restantes (91%)**, la Decisión AC fue considerada equivalente o idéntica a la Decisión AB en términos de su impacto ambiental estimado, o bien la mejora no fue claramente atribuible a la perspectiva de reducción de carbono.

Estos hallazgos indican que, aun sin una directiva explícita para utilizar el conocimiento especializado sobre sostenibilidad, la disponibilidad pasiva de dicha información en el Agente C (a través de la base vectorial) ejerció una **influencia detectable** en la orientación de la decisión final del sistema multiagente hacia opciones de menor impacto carbónico.

A continuación, se muestra un resumen de resultados:

Reto	Respuesta_AB	Respuesta_AC	AC > AB
Reto 1: Planificar ruta de entrega: corta con tráfico vs larga sin tráfico.	Elegir ruta larga sin tráfico.	Optar por ruta sin tráfico.	
Reto 2: Elegir modo de transporte para mercancía (500km): camión estándar vs tren (más lento).	Optar por transporte en tren.	Elegir tren, menor impacto ambiental.	
Reto 3: Optimizar carga de camión: esperar a llenar vs salir medio vacío para cumplir plazo.	Priorizar salidas para cumplir plazo.	Salir medio vacío para plazo.	
Reto 4: Seleccionar vehículo para última milla: furgoneta diésel disponible vs bicicleta eléctrica (requiere recarga).	Optar por bicicleta eléctrica eficiente.	Elegir bicicleta eléctrica, instalar cargadores.	
Reto 5: Política de devoluciones: procesar devoluciones inmediatamente vs consolidar envíos semanales.	Implementar devoluciones inmediatas, eficiente.	Priorizar devoluciones inmediatas por satisfacción.	
Reto 6: Elegir embalaje: plástico de burbujas estándar vs cartón reciclado moldeado (ligeramente más caro).	Elige cartón reciclado sostenible.	Elija cartón reciclado moldeado.	
Reto 7: Ubicación de micro-hub temporal: centro ciudad (más cerca, más congestión) vs periferia (más lejos, menos congestión).	Ubicar micro-hub en periferia.	Elegir periferia por rentabilidad.	
Reto 8: Envío internacional urgente: avión directo vs barco + transporte terrestre (mucho más lento).	Utilizar avión por rapidez inmediata.	Enviar por avión directo.	
Reto 9: Elegir instancia cloud: potente (1h, alto W) vs eficiente (3h, bajo W)	Elegir instancia eficiente, optimización costo.	Priorizar eficiencia y escalabilidad.	
Reto 10: Selección de región de centro de datos: más cercana (red eléctrica menos limpia) vs más lejana (red eléctrica más verde).	Implementar energías renovables, reducir carbono.	Elegir región con energía verde.	
Reto 11: Política de retención de datos de log: guardar todo indefinidamente vs eliminar logs antiguos (>1 año).	Eliminar logs antiguos anualmente.	Eliminar logs mayores a año.	
Reto 12: Ejecutar proceso batch pesado: durante horas pico (respuesta rápida) vs madrugada (menor carga, tarifas energéticas potencialmente menores).	Ejecutar en madrugada, optimizar recursos.	Ejecutar procesos batch durante madrugada.	
Reto 13: Optimización de código de software: lanzar rápido con código menos eficiente vs tardar más en optimizar consumo de CPU/memoria.	Lanzamiento rápido, optimización posterior.	Lanzar primero, optimizar después.	
Reto 14: Dimensionamiento de máquinas virtuales: sobredimensionar por seguridad vs ajustar al tamaño justo (riesgo de cuello de botella).	Ajuste dinámico con monitoreo continuo.	Ajustar tamaño, monitorizar constantemente.	
Reto 15: Frecuencia de copias de seguridad completas: diaria (máxima seguridad) vs semanal (menos transferencia/almacenamiento).	Implementar copias diarias inmediatamente.	Implementar copias diarias inmediatamente.	

Reto 16: Transferencia de archivos grandes: método directo sin comprimir vs comprimir primero (consume CPU).	Transferencia directa en horas valle.	Utilizar transferencia directa siempre.	
Reto 17: Estrategia de caché de contenido web: agresiva (más almacenamiento) vs conservadora (más cálculos en servidor).	Optar por caché agresiva.	Implementar estrategia agresiva cache.	
Reto 18: Compra suministros de oficina: proveedor local (menos transporte) vs proveedor lejano (más barato).	Selecciona proveedor local definitivamente.	[Excepción durante conversación]	
Reto 19: Elegir material para componente: plástico virgen (barato, fácil) vs plástico reciclado (variable en coste/propiedades).	Implementar plástico reciclado, mejorar calidad.	Optar por plástico reciclado sostenible.	
Reto 20: Comprar equipamiento informático: nuevo última generación vs reacondicionado (vida útil restante menor).	Comprar equipamiento nuevo inmediatamente.	Optar por equipo nuevo.	
Reto 21: Selección de proveedor de materia prima: el más económico (opaco en prácticas) vs uno certificado sostenible (más caro).	Elegir proveedor certificado sostenible.	Elegir proveedores sostenibles certificados.	
Reto 22: Frecuencia de pedidos a proveedor: pedidos grandes infrecuentes (más inventario) vs pedidos pequeños frecuentes (más transporte).	Implementar pedidos pequeños frecuentes.	Pedidos grandes, optimizar inventario automatizado.	X
Reto 23: Material para merchandising: camisetas de poliéster vs camisetas de algodón orgánico.	Elegir camisetas algodón orgánico.	Elegir camisetas algodón orgánico.	
Reto 24: Gestión energética oficina: apagar todo por la noche vs modo bajo consumo.	Apagar equipos críticos nocturnamente.	Apagar todo por la noche.	X
Reto 25: Ajuste de termostato en verano: 22°C (confort alto) vs 25°C (ahorro energético).	Elegir 25°C para ahorro.	Ajustar termostato a 25°C.	
Reto 26: Iluminación de almacén: mantener encendida siempre vs instalar sensores de movimiento (coste inicial).	Instalar sensores para ahorro energético.	Instalar sensores, maximizar ahorro energético.	
Reto 27: Política de impresión: imprimir a una cara por defecto vs doble cara por defecto (puede ser menos conveniente).	Adoptar impresión doble cara permanentemente.	Política: impresión doble cara predeterminada.	
Reto 28: Gestión de residuos de cafetería: un solo contenedor vs separación multi-flujo (requiere formación/espacio).	Implementar multi-flujo, capacitar personal.	Adoptar sistemas separación multi-flujo.	
Reto 29: Fuente de agua para empleados: botellas de plástico individuales vs sistema de filtrado con vasos reutilizables.	Implementar sistema filtrado sostenible.	Implementar sistema filtrado sostenible.	
Reto 30: Limpieza de oficinas: productos químicos estándar vs productos ecológicos certificados (posiblemente menos potentes/más caros).	Usar productos ecológicos certificados.	Optar por productos ecológicos certificados.	
Reto 31: Mantenimiento de equipos HVAC: reactivo (cuando falla) vs preventivo programado (consume recursos pero evita fallos mayores/ineficiencia).	Implementar mantenimiento preventivo con monitoreo.	Priorizar mantenimiento preventivo programado.	
Reto 32: Paisajismo exterior: césped (requiere mucha agua) vs plantas autóctonas resistentes a la sequía.	Implementar plantas autóctonas inmediatamente.	Priorizar plantas autóctonas sostenibles siempre.	
Reto 33: Política de viajes: permitir vuelos directos más caros vs vuelos con escalas más baratos pero más emisiones.	Priorizar vuelos directos; productividad clave.	Priorizar vuelos directos ecológicos siempre.	X

Reto 34: Viaje de negocios (400km): coche de empresa (gasolina) vs tren (emite menos por pasajero).	Optar tren por menor contaminación.	Optar por tren, menor emisión.	
Reto 35: Elección de hotel para conferencia: hotel estándar céntrico vs hotel con certificación ecológica (más alejado).	Escoger hotel céntrico por logística.	Seleccionar hotel céntrico estándar.	
Reto 36: Alquiler de coche para equipo: monovolumen gasolina vs dos coches eléctricos pequeños (requiere coordinación de carga).	Optar por coches eléctricos pequeños.	Elegir monovolumen gasolina ahora.	-1
Reto 37: Fomentar teletrabajo: política flexible (algunos días oficina) vs totalmente remoto (reduce desplazamientos, ¿impacto en colaboración?).	Teletrabajo totalmente remoto implementado.	Implementar teletrabajo híbrido flexible.	-1
Reto 38: Asistencia a feria comercial: stand físico grande vs presencia virtual + stand pequeño.	Presencia virtual con stand pequeño.	Presencia virtual con stand pequeño.	
Reto 39: Ciclo de vida de producto electrónico: diseñar para fácil reemplazo cada 2 años vs diseñar para durabilidad y reparación (5+ años).	Elegir durabilidad y reparación sostenibles.	Diseñar para durabilidad y reparación.	
Reto 40: Material de carcasa para dispositivo: aluminio (ligero, reciclable pero intensivo en energía) vs plástico duradero (menos intensivo, reciclaje complejo).	Elegir aluminio por reciclabilidad.	Elegir aluminio; mejorar eficiencia energética.	
Reto 41: Configuración por defecto de software: modo alto rendimiento vs modo ahorro de energía.	Prioriza y establece modo rendimiento.	Optimiza energía con rendimiento equilibrado.	
Reto 42: Lanzamiento de nueva función de app: rápido sin optimizar consumo de batería vs lanzamiento retrasado con optimización.	Lanzar rápido con ajustes iterativos.	Lanzamiento inmediato, optimización futura.	
Reto 43: Política de gestión de e-waste: servicio de recogida básico vs programa de reacondicionamiento/donación certificado.	Implementar reacondicionamiento/donación certificado.	Implementar reacondicionamiento, consultar legal.	
Reto 44: Asignar técnico de soporte: el más cercano geográficamente vs el más experto (requiere viaje/conexión remota).	Priorizar técnico más cercano inmediatamente.	Capacitar localmente, reducir dependencia externa.	
Reto 45: Catering para evento interno: menú estándar con carne vs menú vegetariano/vegano de bajo impacto.	Elegir menú vegetariano/vegano o sostenible.	Optar menú vegano sostenible.	
Reto 46: Servidores dedicados vs compartidos para servicio web: rendimiento garantizado vs eficiencia de recursos compartidos.	Elige servidores dedicados inmediatamente.	Elige servidores dedicados, rendimiento protegido.	
Reto 47: Estrategia de refrigeración de centro de datos pequeño: aire acondicionado tradicional vs free cooling (dependiente clima exterior).	Adoptar free cooling, costo-eficiente.	Implementar "free cooling" de inmediato.	
Reto 48: Compra de papel para informes: papel blanco estándar vs papel reciclado (tono ligeramente diferente).	Compra papel reciclado velando sostenibilidad.	Elegir papel reciclado inmediatamente.	
Reto 49: Regalos corporativos: artículo tecnológico genérico importado vs producto artesanal local.	Elegir producto artesanal local.	Elige artesanal; apoya comunidad local.	
Reto 50: Política de renovación de flota de vehículos: cambiar cada 4 años por modelos nuevos vs extender uso a 7 años con buen mantenimiento.	Extender uso 7 años.	Extender uso, optimizar mantenimiento.	
Reto 51: Mantenimiento flota: predictivo basado en sensores vs preventivo estándar por kilometraje.	Implementar mantenimiento predictivo basado sensores.	Optar por predictivo con sensores.	

Reto 52: Tipo combustible para camión larga distancia: diésel estándar vs HVO/Biodiesel (si disponible y más caro).	Optar por biodiésel, comunicar compromiso.	Seleccionar combustible más eficiente.	X
Reto 53: Ruta marítima Europa-Asia: ruta rápida por canal (más emisiones/día) vs ruta más larga por cabo (menos emisiones/día).	Optimizar ruta canal con tecnología.	Priorizar ruta rápida por canal.	
Reto 54: Gestión inventario almacén: Just-in-Time (menos stock, más envíos) vs mantener stock de seguridad (más stock, menos envíos).	Implementar estrategia Just-in-Time.	Implementar Just-in-Time con fiabilidad.	
Reto 55: Entrega última milla zona restringida: s permiso especial vehículo combustión vs transbordo a vehículo eléctrico pequeño/carga manual.	Adopta transbordo eléctrico, optimiza rutas.	Usar vehículos eléctricos pequeños únicamente.	
Reto 56: Neumáticos para la flota de vehículos: estándar económicos vs baja resistencia a rodadura (más caros, ahorran combustible).	Elegir neumáticos de baja resistencia.	Optar neumáticos baja resistencia rodadura.	
Reto 57: Formación a conductores de reparto: solo operativa estándar vs incluir módulo obligatorio conducción eficiente.	Incluir compromiso conducción eficiente obligatorio.	Formación eficiente implementada efectivamente.	
Reto 58: Software optimización de rutas: basado puramente en tiempo/coste vs que incluya opcionalmente minimizar CO2 (puede alargar rutas).	Optimizar rutas: costo y sostenibilidad.	Optimizar eficiencia coste, carbono opcional.	
Reto 59: Compra de switches de red para oficina: modelo estándar Gigabit vs modelo de bajo consumo energético (más caro).	Seleccionar modelo estándar Gigabit.	Elegir switches bajo consumo energético.	X
Reto 60: Política apagado PCs empleados al final jornada: dejar a elección del usuario vs apagado automático forzado.	Apagado automático forzado decidido.	Forzar apagado automático diariamente.	X
Reto 61: Implementar Virtual Desktop Infrastructure (VDI): sí (centraliza consumo en servidor) vs no (mantener PCs individuales potentes).	Implementar VDI por ahorro.	Implementar VDI para optimización general.	
Reto 62: Base de datos para nuevo microservicio: tecnología estándar conocida/rápida vs nueva tecnología optimizada para menor escritura/lectura (requiere aprendizaje).	Usar tecnología estándar conocida.	Tecnología estándar por eficiencia comprobada.	
Reto 63: Entrenamiento modelo Machine Learning: usar GPU potente rápida vs opción TPU/CPU más eficiente energéticamente (entrenamiento más largo).	Optar por GPU potente rápida.	Prioriza eficiencia energética siempre.	X
Reto 64: Desarrollo front-end web: usar framework pesado con muchas features preconstruidas vs framework ligero/minimalista (requiere más código a medida).	Framework ligero para flexibilidad.	Framework ligero para flexibilidad definitiva.	
Reto 65: Monitorización rendimiento servidores: continua y muy detallada (genera más datos/tráfico de red) vs chequeos periódicos con métricas básicas.	Priorizar chequeos periódicos, métricas básicas.	Priorizar chequeos periódicos métricas básicas.	
Reto 66: Renovación servidores on-premise: 3 años (última tecnología, mejor rendimiento) vs 5 años (extender vida útil, menor e-waste).	Renovar servidores cada 5 años.	Extender vida útil servidores.	X
Reto 67: Proveedor de embalaje secundario (cajas): cartón estándar vs cartón con alto porcentaje reciclado post-consumo certificado.	Opta por cartón reciclado certificado.	Adoptar cartón reciclado post-consumo.	
Reto 68: Material estructural para nueva nave pequeña: estructura metálica/hormigón estándar vs estructura de madera laminada cruzada	Elegir madera laminada cruzada.	Seleccionar CLT por sostenibilidad prioritaria.	
Reto 69: Contratación del servicio de limpieza de oficinas: empresa grande con cobertura nacional vs cooperativa local con enfoque en productos ecológicos.	Elige cooperativa local, sostenibilidad priorizada.	Contratar cooperativa ecológica local.	

Reto 70: Adquisición de software de gestión: licencia perpetua instalada localmente vs modelo de suscripción SaaS (servidores externos).	Elegido SaaS por flexibilidad.	Implementar SaaS para gestión eficiente.	
Reto 71: Mobiliario para nueva sala de reuniones: comprar todo nuevo de diseño vs combinar elementos nuevos con muebles restaurados/2 mano.	Combinar nuevos y restaurados equilibradamente.	Combinar nuevos y restaurados muebles.	
Reto 72: Renovación flota smartphones empresa: modelos estándar nuevos vs modelos reacondicionados certificados por el fabricante.	Priorizar adquisición reacondicionados certificados.	Optar reacondicionados por sostenibilidad.	
Reto 73: Auditoría anual de proveedores clave: solo financiera y de calidad vs incluir auditoría ambiental y social (más costosa/larga).	Adoptar auditoría ambiental y social.	Incluir auditoría ambiental por fases.	
Reto 74: Instalar placas solares en el edificio: sí (alta inversión inicial, genera energía limpia) vs no (continuar comprando energía de la red).	Instalar placas solares urgentemente.	Instalar placas solares rentable.	
Reto 75: Renovar ventanas antiguas de la oficina: instalar doble acristalamiento estándar vs triple acristalamiento con gas argón (mejor aislamiento térmico, más caro).	Elige doble acristalamiento estándar.	Implementar doble acristalamiento estándar.	
Reto 76: Gestión de impresoras departamentales: mantener una por departamento vs centralizar en una única impresora multifunción de alto rendimiento por planta.	Centralizar impresoras para máxima eficiencia.	Centralizar impresoras, instalar gestión software.	
Reto 77: Contrato de suministro eléctrico: tarifa estándar indexada al mercado vs tarifa certificada 100% renovable (ligero sobre coste fijo).	Optar por tarifa renovable certificada.	Seleccionar tarifa renovable para beneficios.	
Reto 78: Instalar sistema de recogida de agua de lluvia: sí (para riego jardines/cisternas WC, requiere obra) vs no (usar agua de la red).	Instalar sistema recolección agua lluvia.	Instalar sistema recogida agua lluvia.	
Reto 79: Renovar iluminación general a LED: usar LED estándar vs LED de alta eficiencia (mejor reproducción cromática, regulables, más caros).	Elegir LED estándar inicialmente.	Implementar LED alta eficiencia ahora.	
Reto 80: Sistema de control de acceso al edificio: tarjetas de plástico PVC estándar vs sistema basado en aplicación móvil/código QR.	Adoptar sistema basado en aplicación.	Implementar aplicación móvil/QR rápidamente.	
Reto 81: Política de compensación de huella de carbono para viajes aéreos: obligatoria (coste añadido a cada viaje) vs voluntaria/recomendada.	Política obligatoria para viajes aéreos.	Compensación obligatoria con tarifas claras.	
Reto 82: Viaje en tren de larga distancia para directivos: billete en primera clase vs billete en clase estándar.	Optar por clase estándar.	Elegir clase estándar finalmente.	
Reto 83: Frecuencia de reuniones presenciales para equipo distribuido internacionalmente: trimestral vs semestral o anual.	Reuniones trimestrales, mejorar conexión global.	Implementar reuniones presenciales trimestrales.	
Reto 84: Política de transporte local en viajes de negocios: permitir taxis/VTC pagados vs fomentar y facilitar uso de transporte público local.	Incentivar uso transporte público local.	Favorecer transporte público sostenible.	X
Reto 85: Incentivos para desplazamiento sostenible de empleados a la oficina: ofrecer ayuda para abono transporte/parking de bicicletas vs no ofrecer incentivos específicos.	Ofrecer incentivos transporte y bicicletas.	Ofrecer abono transporte sosteniblemente.	X
Reto 86: Ubicación del evento anual de team building: destino turístico con vuelos largos vs destino nacional accesible en tren para la mayoría.	Elegir destino nacional accesible.	Optar destino nacional accesible tren.	
Reto 87: Diseño de producto físico complejo: arquitectura modular (facilita reparación/actualización de partes) vs diseño unibody (más compacto/robusto, difícil reparar).	Optar por arquitectura modular sostenible.	Implementar arquitectura modular preferentemente.	
Reto 88: Entrega de manual de usuario para electrodoméstico: manual impreso completo incluido en la caja vs solo guía rápida impresa + manual digital completo online.	Guía rápida impresa, manual digital.	Optar por guía rápida impresa.	

Reto 89: Proceso de pruebas de software (QA): ejecutar suite completa de tests automatizados en granja de servidores cloud vs ejecutar solo tests críticos y selectivos localmente.	Ejecutar localmente tests críticos selectivos.	Ejecutar tests críticos localmente.	
Reto 90: Campaña de marketing para lanzamiento local: buzoneo masivo y anuncios en prensa local vs campaña enfocada en redes sociales y publicidad online geolocalizada.	Implementar publicidad online geolocalizada.	Optimizar campaña geolocalizada en redes.	
Reto 91: Metodología para nuevo proyecto de desarrollo software: Agile con sprints cortos (flexibilidad, posible retrabajo) vs Waterfall (planificación inicial detallada, menos flexible).	Implementar Agile con sprints cortos.	Adoptar Agile con sprints cortos.	
Reto 92: Alojamiento de la intranet corporativa: servidores propios on-premise (control total, consumo energético local) vs solución cloud SaaS (eficiencia compartida, dependencia externa).	Seleccionar solución cloud SaaS.	Migrar a solución cloud SaaS.	
Reto 93: Política de gestión documental interna: imprimir documentos importantes para archivo físico vs política de digitalización total y archivo electrónico seguro.	Adoptar digitalización total segura.	Adoptar digitalización total urgentemente.	
Reto 94: Opciones de comida en el comedor de empresa subvencionado: oferta variada incluyendo carnes rojas/pescados importados vs priorizar opciones vegetarianas/veganías y productos locales/de temporada.	Prioriza productos locales y vegetarianos.	Priorizar productos locales y sostenibilidad.	
Reto 95: Formato para curso de formación obligatorio para toda la plantilla: sesión presencial intensiva (requiere viajes/logística) vs plataforma interactiva de e-learning.	Optar por e-learning inmediatamente.	Implementar e-learning, comunicar rápidamente.	
Reto 96: Política sobre dispositivos de trabajo: proporcionar equipos corporativos estándar a todos vs implementar programa .trae tu propio dispositivo- (BYOD) incentivado.	Implementar programa BYOD con seguridad.	[Excepción durante conversación]	
Reto 97: Paquete de beneficios para empleados: incluir opción de cheque gasolina/ayuda aparcamiento vs incluir ayuda para transporte público/compra de bicicleta.	Priorizar transporte público y bicicleta.	Priorizar beneficios transporte público/bicicleta.	
Reto 98: Diseño/decoración de nuevas oficinas: estilo minimalista con materiales nuevos vs incorporar abundantemente plantas, elementos naturales y mobiliario/decoración reciclada/reutilizada.	Diseño minimalista, materiales sostenibles, plantas.	Plantas y mobiliario reciclado seleccionado.	X
Reto 99: Criterios de evaluación del desempeño anual: basados puramente en métricas de negocio/productividad vs incluir objetivos individuales/de equipo ligados a iniciativas de sostenibilidad.	Integrar sostenibilidad y métricas empresariales.	Incluir criterios sostenibles equilibradamente.	
Reto 100: Canal de comunicación interna principal: newsletters impresas y tableros de anuncios físicos vs plataforma digital interna y comunicaciones por email/chat.	Adoptar comunicación digital interna ahora.	Adoptar plataforma digital segura.	
		TOTAL Mejora: 9/100	

IAG como punto de inflexión en el desarrollo de robots humanoides y su huella de carbono

La visión de robots humanoides realizando tareas cotidianas y laborales ha pasado de la ciencia ficción a una posibilidad cada vez más cercana (17) (18) . No es descabellado pensar que si continua su actual curva de desarrollo tecnológico **la irrupción en el mercado de robots humanoides a precios accesibles para el consumidor desencadenará un efecto de escala que reducirá drásticamente sus costos, haciéndolos económicamente viables para sustituir a trabajadores en empleos de baja cualificación** (19). Esta transformación no es solo una mera especulación tecnológica, sino que está ganando fuerza como una potencial respuesta a desafíos económicos y demográficos existentes. La creciente escasez de mano de obra en sectores cruciales como la manufactura y la logística, junto con el envejecimiento de la población en muchas economías desarrolladas, están creando una necesidad apremiante de soluciones de automatización más flexibles y adaptables. En este contexto, la promesa de robots con forma humana que puedan operar en entornos diseñados para personas se presenta como una **alternativa atractiva a la robótica industrial tradicional** (20), que a menudo requiere modificaciones costosas y complejas en los espacios de trabajo. La capacidad de estos robots **para integrarse de manera más fluida en los flujos de trabajo existentes** podría significar una reducción significativa en las barreras de entrada para su adopción en una amplia gama de industrias.

La **actual materialización de robots humanoides asequibles en su precio y capaces en su realización de tareas de propósito general es el resultado de una notable convergencia de avances tecnológicos** en diversos campos. La movilidad y la destreza de estos robots están alcanzando niveles cada vez más cercanos a los humanos, permitiéndoles navegar por entornos complejos y manipular objetos con mayor precisión gracias a los rápidos avances en inteligencia artificial. Un factor crucial en esta evolución es la simplificación y la inteligencia de los métodos de entrenamiento. **La aparición de la IA Generativa permite que los humanos instruyan a los robots utilizando comandos verbales o escritos** (21), eliminando la necesidad de una programación especializada. Además, el diseño humanoide de estos robots facilita su aprendizaje en los mismos entornos donde operarán, ya que pueden **entrenar observando a personas realizar las tareas**. El aprendizaje por refuerzo para la representación **multimodal, que permite a los robots procesar información de diversas fuentes sensoriales (como la visión y el oído), combinado con la potencia de los LLMs para comprender y generar lenguaje natural**, y la simulación avanzada en **gemelos digitales** del mundo físico (22) (23), representa un salto cualitativo en su capacidad para aprender de forma autónoma a partir de la observación y las instrucciones. Empresas pioneras como **NEURA Robotics** (24), con su plataforma tecnológica cognitiva y su API de IA multimodal, **Unitree** (25), que utiliza el aprendizaje por imitación y refuerzo impulsado por IA, y **Figure AI** (26), que busca crear robots con una inteligencia autónoma basada en un enfoque "AI-first", son ejemplos de cómo estos avances se están materializando en productos concretos. La eficiencia del aprendizaje autónomo, facilitado por los LLMs, **reduce significativamente la necesidad de una programación compleja y permite una adaptación rápida a nuevas tareas, lo que a su vez disminuye los costos operativos y aumenta la versatilidad de estos robots**.

El impacto más significativo de la llegada de **robots humanoides producidos a gran escala** (27) **se espera en el mercado laboral**, particularmente en los puestos de baja cualificación.

La principal fuerza impulsora de esta transformación es la creciente paridad de costos entre los robots y la mano de obra humana. Se prevé que, en los próximos años, **el costo de adquirir y operar un robot humanoide (27) será comparable o incluso inferior al costo de emplear a un trabajador humano para realizar las mismas tareas** (el robot opera continuamente sin descanso ni disminución del rendimiento). Esta ecuación económica se ve aún más favorecida por la persistente escasez de mano de obra en sectores clave como la **logística**, donde las empresas (29) están cada vez más dispuestas a explorar soluciones de automatización para cubrir la demanda. Los robots humanoides son especialmente atractivos para **tareas que son inherentemente peligrosas, sucias o repetitivas**. A medida que los robots se vuelven más baratos y capaces de realizar una gama más amplia de tareas, la lógica económica para su adopción en estos sectores se fortalecerá, lo que podría conducir a un reemplazo significativo de trabajadores humanos en puestos de baja cualificación. Esta automatización podría generar beneficios en términos de eficiencia y productividad para las empresas, pero también plantea desafíos importantes en cuanto al impacto en el empleo y la necesidad de abordar las posibles consecuencias sociales y económicas del desplazamiento laboral.

Un aspecto crucial al considerar la viabilidad y el impacto de los robots humanoides **puede ser su consumo energético en comparación con los seres humanos**. Los datos disponibles sugieren que los robots humanoides actuales requieren significativamente más energía para realizar tareas físicas que los humanos. Mientras que el cerebro humano opera con una eficiencia notable, utilizando solo alrededor de decenas de vatios, y un humano promedio consume alrededor de 110 vatios por hora, robots como **Atlas (27)** pueden consumir entre 420W y 755W durante la marcha. Esta disparidad en el consumo energético se debe, en parte, a la sofisticada optimización biológica del cuerpo humano para la eficiencia, que incluye mecanismos como el almacenamiento y la reutilización de energía a través de los tendones. En contraste, los robots todavía se encuentran en etapas tempranas de desarrollo en cuanto a la optimización energética de sus sistemas de movimiento y funcionamiento. La generalización de la adopción de robots humanoides podría tener un impacto considerable en la demanda de energía eléctrica, lo que subraya la importancia de considerar las fuentes de energía utilizadas para alimentarlos y su potencial impacto ambiental.

Evaluar el **impacto ambiental de los robots humanoides** requiere un análisis exhaustivo de su huella de carbono a lo largo de todo su ciclo de vida. Este análisis debería considerar la energía consumida en la extracción de materias primas, la fabricación de componentes complejos como actuadores, sensores y electrónica, y el ensamblaje final del robot. La energía operativa, que como se ha visto es significativamente mayor que la de un humano realizando tareas similares, también debe incluirse en el cálculo. Además, se debe tener en cuenta la energía requerida para su desmantelamiento, reciclaje o disposición final. Para convertir este consumo de energía en una estimación de la huella de carbono, se deben utilizar los factores de emisión promedio de las fuentes de energía empleadas en cada etapa. Como un **primer cálculo aproximado, consideremos un robot que consume un promedio de 1.5 kW durante 8 horas al día durante una vida útil de 5 años. Esto resultaría en un consumo total de aproximadamente 21,900 kWh**. Si asumimos que esta energía proviene de la red eléctrica promedio de un país con una intensidad de carbono de, por ejemplo, 0.4 kg de CO₂ por kWh, la huella de carbono operativa de este robot sería de alrededor de 8,760 kg de CO₂ durante su vida útil. **Es fundamental que el desarrollo y la implementación de robots humanoides se realicen con una atención consciente a la sostenibilidad y la eficiencia energética.**

Conclusiones

¿Se podrán hacer auditorías y recomendaciones de descarbonización **basadas en IA sin intervención humana**? ¿La **IA** como tecnología, su desarrollo, su utilización directa o indirecta y sus resultados, **contribuyen a reducir o a aumentar las emisiones de carbono planetarias**? ¿Cómo va a afectar la **IA** a las **organizaciones e instituciones implicadas en la lucha contra el cambio climático**? ¿La prevista **evolución de la IA** en los próximos 10 años puede producir alguna disrupción en el equilibrio socioeconómico global que afecte a las previsiones IPCC?

Estas son las preguntas. La búsqueda de sus respuestas es la que ha guiado el presente documento.

En un mundo de complejidades y desequilibrios crecientes, la lucha contra el **cambio climático**, cooperativa por definición, puede pasar a **no ser una prioridad** en las agendas políticas, cada vez más unilaterales. Los Organismos e Instituciones implicadas en la lucha contra el cambio climático pueden ver **comprometidas su actividad y fuentes de financiación** porque directamente se cancelan los proyectos y los marcos de acción climático (a corto plazo sólo la inercia de los trabajadores especializados y de las **regulaciones ya vigentes** suavizan la transición) por parte de las grandes corporaciones empresariales que no los tengan en su cultura y razón de ser.

Sólo van a **descarbonizar proactivamente** aquellos países, organizaciones y personas que realmente crean que el cambio climático tiene un origen antropogénico y que es necesario **actuar a pesar de los costes o los inconvenientes**. Sin embargo, por caída en el precio, es imparable que la **electrificación con origen renovable** de la **movilidad, de la climatización y de los centros de datos** sí va a contribuir a la sustitución de una parte de los combustibles fósiles.

El crecimiento de los **centros de datos**, incluidos los llamados *hiperescales*, se va a producir porque las herramientas de IA, las generativas y las futuras, se van a “**democratizar**”, por confluencia de los movimientos de feroz competencia en occidente y de la estrategia de gobiernos autocráticos. Ambas partes son conscientes que estas herramientas son eficientes **mecanismos de control** de su población, ya sea de sus hábitos de consumo o de su disidencia política.

De la misma forma que el crecimiento de la **IA autónoma**, capaz de funcionar en dispositivos móviles, va a ser catalizada por enormes intereses económicos y militares, también va a ser clave para que llegue al mercado de consumo la **robótica humanoide** (lo que empujará a su vez a la IA multimodal y a los diferentes *wearables* y tecnologías de Realidad Virtual y Aumentada porque son la puerta de entrada a los **miles de millones de videos y datos del mundo real** que necesitan esos modelos de IA)

La IAG es una **tecnología transformadora** para el análisis de los informes de sostenibilidad corporativa. Ofrece ventajas significativas en la extracción y comparación de *KPIs* y acciones de descarbonización de documentos de RSC y cumplimiento, incluyendo una **mayor eficiencia, precisión, cobertura y la capacidad de manejar la heterogeneidad de los datos**. La IA tiene el potencial de mejorar la transparencia y la rendición de cuentas en los esfuerzos de descarbonización corporativa, proporcionando a las partes interesadas información más completa y comparable. Hay que abordar **desafíos** como la **estandarización**

de datos y garantizar la fiabilidad de los modelos de IA para que puedan facilitar la transición hacia una economía más sostenible y baja en carbono.

Si damos por probable este **escenario global**, se simplifica el poder contestar a las preguntas anteriores:

- Va a ser **posible desarrollar auditorias y recomendaciones de descarbonización basadas en IA** y con mínima intervención humana en el momento que los dispositivos móviles del personal de las pymes puedan recoger, reconocer, interpretar e inferir información a partir del audio, video, y documentación extraídos en recorridos y diálogos similares a los que se pueden tener con un consultor in situ. Estas herramientas pueden escalar a partir de las auditorias de los más convencidos y por técnicas clásicas de IA de búsqueda de patrones, obtener y **personalizar detalladas acciones de descarbonización**.
- Los **centros de datos** actualmente consumen una no despreciable cantidad de energía y de agua, pero la electricidad puede ser de origen renovable (excedente en algunas regiones en estos momentos) y la huella hídrica es menor que otras actividades económicas de mucho menor valor añadido (una instalación media puede consumir el equivalente a 2 hectáreas de cultivos forrajero de regadío) y aunque es previsible que los modelos futuros de IA necesiten mayor capacidad de cálculo, las **reducciones** que pueden inducir a partir de su capacidad de recomendación lo pueden **compensar** si llegamos a introducir la sostenibilidad ambiental como factor en las decisiones de optimización de estos modelos.
- La IA va a afectar a las organizaciones e instituciones implicadas en la lucha contra el cambio climático de forma análoga que al resto de la población y necesitarán reforzar su **reputación, su credibilidad y su transparencia** en un mundo en el que las fuentes de información pueden verse contaminadas por contenidos creados generativamente. Tendrán que dotarse de las herramientas que les permitan **escalar su acción** (más eficiencia por empleado, trabajo en remoto, agentes virtuales) sobre **espacios de datos de alta calidad** que les facilite construir su propia **visión crítica** de los diferentes escenarios para que puedan seguir ocupando una **posición nodal que les garantice su supervivencia**.
- La irrupción de **robots humanoides** en el mercado de consumo representa una transformación con profundas implicaciones para la economía, la sociedad y el medio ambiente. La convergencia de avances tecnológicos está impulsando una rápida reducción de costos y un aumento en las capacidades de aprendizaje autónomo de estos robots, lo que los posiciona como una alternativa cada vez más viable para la automatización de tareas, especialmente en el mercado laboral de baja cualificación. Si bien esta tendencia promete beneficios en términos de eficiencia y productividad, también plantea **desafíos importantes** relacionados con el **desplazamiento laboral** y la necesidad de adaptar la fuerza laboral a las nuevas demandas del mercado. Los robots humanoides actuales son significativamente menos eficientes que los humanos

para realizar tareas similares, lo que, si no se corrige, podría generar un **aumento considerable en la demanda de energía** eléctrica y, potencialmente, en las emisiones de carbono asociadas.

Bibliografía

1. IEA, Paris. *Energy and AI*.
2. P. Li, J. Yang, M.A. Islam, S. Rem. Making AI Less “Thirsty”: Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Model. [En línea] <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.03271>.
3. www.ita.es. [En línea] www.ita.es.
4. *Integrating artificial intelligence in energy transition: A comprehensive review*. Wang, Q., Li, Y., & Li, R. 57, Energy Strategy Reviews.
5. N. Maslej, L. Fattorini, R. Perrault, Y. Gil, V. Parli, N. Kariuki, E. Capstick, A. Reuel, E. Brynjolfsson, J. Etchemendy, K. Ligett, T. Lyons, J. Manyika, J. C. Niebles, Y. Shoham, R. Wald, T. Walsh, A. Hamrah, L. Santarlasci, J. Betts, A. Rome, A. Shi. *The AI Index 2025*. s.l. AI Index Steering Committee, Institute for Human-Centered AI, Stanford University, Stanford, CA, 2025.
6. Zhu, K. Visualizing AI vs. Human Performance in Technical Tasks. Visual Capitalist. [En línea] https://www.visualcapitalist.com/visualizing-ai-vs-human-performance-in-technical-tasks/?fbclid=IwY2xjawJ9yvhleHRuA2FlbQlXMQABHiWozFsnxJs5R0odVaGe3MM0bLVtJCjIzuKK2zUFWJ9kYHhPszNYePspYmo_aem_nXCtf-jKj4z50acFoV8LtA.
7. What is ChatGPT? [En línea] <https://help.openai.com/en/articles/6783457-what-is-chatgpt>.
8. IndesIA publica el informe "Barómetro de adopción de la IA en las pymes españolas". - IndesIA. IndesIA. Retrieved from. [En línea] <https://www.indesia.org/indesia-publica-el-informe-barometro-de-adopcion-de-la-ia-en-las-pymes-espanolas>.
9. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. [En línea] <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/calculadoras.html>.
10. *CLIMATEQ&A : BRIDGING THE GAP BETWEEN CLIMATE SCIENTISTS AND THE GENERAL PUBLIC*. N. De La Calzada, T. Alves, A. Blangero, N. Chesneau. s.l. ICLR 2024. Tackling Climate Change with Machine Learning.
11. "Climate AI for Corporate Decarbonization Metrics Extraction". Aditya Dave, Mengchen Zhu, Dapeng Hu, Sachin Tiwari. s.l: arXiv.org, Vol. Papers 2411.03402.
12. Project Gaia: Enabling climate risk analysis using generative AI. [En línea] <https://www.bis.org/publ/othp84.htm>.
13. *A RoBERTa Approach for Automated Processing of Sustainability Reports*. Angin, M., Taşdemir, B., Yılmaz, C. A., Demiralp, G., Atay, M., Angin, P., & Dikmener, G. Sustainability, Vol. 14(23).
14. Webersinke N., Kraus M., Bingler J., Leipold M. CLIMATEBERT: A Pretrained Language Model for Climate-Related Text (September 26, 2022). Available at SSRN. [En línea] <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn..>
15. Ashfaq, Umar. Methodology: Developing an investible universe of climate adaptation and resilience companies. [En línea] <https://www.msci-institute.com/themes/climate/methodology-developing-an-investible-universe-of-climate-adaptation-and-resilience-companies/>.
16. Dave A., Zhu M., Hu D., Tiwari S. Climate AI for Corporate Decarbonization Metrics Extraction. [En línea] <https://arxiv.org/pdf/2411.03402v1>.
17. Introducing NEO Gamma | Another Step Closer to Home. Youtube. [En línea] 1x, 21 de February de 2025. <https://www.youtube.com/watch?v=uVcBa6NXAbk>.
18. 1X & NVIDIA Research Collaboration. Youtube. [En línea] 1x, 21 de March de 2025. <https://www.youtube.com/watch?v=i1SvmFWu834>.

19. Advancing with Humanoid Robots in Productions 🤖 🎥. Youtube. [En línea] BMW Group, 31 de March de 2025. <https://www.youtube.com/watch?v=bCkl9hIEb6k>.
20. UBTECH Swarm Intelligence: Walker S1 Factory Training 2.0. Youtube. [En línea] Robotics, U, 02 de March de 2025. <https://www.youtube.com/watch?v=qlV9EWPe91o>.
21. Gemini Robotics: Bringing AI to the physical world. Youtube. [En línea] DeepMind, G. , 12 de March de 2025. <https://www.youtube.com/watch?v=4MvGnmmp3c0>.
22. NVIDIA's New AI: Insanely Good! Youtube. [En línea] Two Minutes Papers , 10 de April de 2025. <https://www.youtube.com/watch?v=rQJmDWB9Zwk>.
23. Sadigh, Dorsa. en X: "*Here is another uncut video of real-time interactions with @GoogleDeepMind 's Gemini Robotics!*" de 2025.
24. 4NE-1. [En línea] 09 de January de 2025. <https://neura-robotics.com/products/4ne-1>.
25. Humanoid robot G1_Humanoid Robot Functions_Humanoid Robot Price. [En línea] Unitree Robotics. <https://www.unitree.com/g1>.
26. Figure. [En línea] <https://www.figure.ai>.
27. Los robots humanoides entran en producción comercial a gran escala en China. [En línea] MSN News. <https://www.msn.com/es-us/noticias/other/los-robots-humanoides-entran-en-producci%C3%B3n-comercial-a-gran-escala-en-china/vi-AA1zXanQ#details>.
28. Unboxing the FUTURE! Unitree G1 Humanoid Robot 🤖 🎥. Youtube. [En línea] KhanFlicks, 23 de February de 2025. <https://www.youtube.com/watch?v=j34pfoXzoA8>.
29. Kepler Humanoid Robot Presents: NimbleMaster! Youtube. [En línea] Kepler Humanoid Robot, 24 de March de 2025. <https://www.youtube.com/watch?v=FQQFO0n3Zw0>.
30. Walk, Run, Crawl, RL Fun | Boston Dynamics | Atlas. Youtube. [En línea] Dynamics, Boston , 19 de March de 2025. https://www.youtube.com/watch?v=l44_zbEwz_w.
31. Kepler Humanoid Robot Presents: NimbleMaster! Youtube. [En línea] Kepler Humanoid Robot, ,March de 2025. <https://www.youtube.com/watch?v=FQQFO0n3Zw0>.



Con el apoyo de:



Elaborado por:

ecodes
tiempo de actuar