

El Impacto Ambiental de la Inteligencia Artificial: ¿Vale la Pena su Uso por los Recursos que Consume?

Indice

Introducción

La inteligencia artificial (IA) es una de las tecnologías más importantes de nuestra época. Está cambiando la forma en que trabajamos, nos comunicamos y resolvemos problemas, desde la agricultura hasta la medicina. Sin embargo, su rápido crecimiento también genera preocupaciones, especialmente por su impacto en el medio ambiente.

Pero, ¿qué es realmente la IA? Aunque el término sugiere "inteligencia" similar a la humana, en realidad se refiere a sistemas computacionales capaces de aprender de datos y tomar decisiones sin intervención constante del ser humano. No piensan ni sienten como nosotros, pero pueden realizar tareas complejas, como predecir el clima o traducir idiomas.

El problema es que estos sistemas requieren enormes cantidades de energía y agua para funcionar, especialmente en los centros de datos que los sostienen. Empresas como Microsoft y Google están trabajando para reducir este impacto, pero el aumento en el uso de IA, especialmente con herramientas como ChatGPT, podría empeorar la situación.

En este trabajo, analizaremos cómo la IA puede ser tanto una solución como un problema ambiental. Comenzaremos definiendo qué es la IA, cómo funciona y por qué su consumo de recursos es un tema crítico en la actualidad.

Capítulo 1.

¿Dónde, cuánto y quiénes?

La inteligencia artificial (IA) es una de las tecnologías más importantes hoy en día, ha emergido como una de las tecnologías más transformadoras del siglo XXI, redefiniendo industrias completas y modificando nuestra interacción con el entorno y está cambiando muchas cosas en el mundo, desde cómo se cultivan los alimentos hasta cómo se maneja la energía y el transporte. Pero aunque tiene muchos beneficios, también hay preocupaciones sobre cómo funciona y qué tan lejos puede llegar. Por ejemplo ¿qué tan inteligentes son realmente los programas de IA? ¿Cómo es que funcionan? ¿Qué pueden hacer bien y en qué fallan? Y algo que preocupa mucho es ¿qué pasaría si las máquinas se vuelven más inteligentes que los humanos? Estas cuestiones trascienden el ámbito académico para convertirse en preocupaciones sociales globales, pues la IA no solo está transformando mercados laborales y economías, sino que también está redefiniendo nuestra relación con el medio ambiente.

En cuanto al medio ambiente, la IA puede ayudar a resolver problemas como el uso excesivo de recursos naturales o la contaminación, pero también tiene un lado negativo. Los centros de datos que son como el cerebro de la IA, consumen cantidades astronómicas de recursos. Según algunos estudios los centros de datos usan entre el 0.2% y el 0.5% del agua dulce del mundo, una cifra que parece modesta hasta que consideramos su crecimiento exponencial ya que esto podría aumentar porque cada vez se usa más la IA y la nube. Empresas como Microsoft y Google están tratando de reducir su impacto implementando medidas para reducir su huella hídrica pero todavía hay mucho por hacer, especialmente en lugares donde ya hay poca agua.

Además, La localización de estos centros de datos agrava el problema ya que muchos centros de datos se ubican en zonas con estrés hídrico, lo cual agrava la

situación local. La expansión acelerada de la infraestructura digital ha llevado a que países como México, especialmente el estado de Querétaro alberga 26 centros de datos que operan en medio de una severa sequía, donde las presas locales se encuentran al borde del colapso. Situaciones similares se repiten en Uruguay, donde un futuro centro de datos de Google consumirá 7.6 millones de litros diarios en plena crisis hídrica, y en Arizona (EE.UU.), donde los conflictos por el agua entre tecnológicas y agricultores son cada vez más frecuentes. En el sur global, estas instalaciones aprovechan condiciones favorables como bajos costos operativos y subsidios estatales, a costa de mayores impactos ambientales locales.

Este fenómeno ha generado debates sobre justicia ambiental, ya que las regiones con menor infraestructura para hacer frente a las crisis hídricas son las que están asumiendo el mayor costo ecológico del crecimiento digital global.

El crecimiento acelerado de la demanda de procesamiento impulsado por tecnologías como ChatGPT, Google Bard o Gemini ha desencadenado inversiones masivas en centros de datos de alto rendimiento, que funcionan las 24 horas del día. La refrigeración de los chips y servidores utilizados para IA avanzada requiere cada vez más sistemas intensivos en agua y electricidad.

Algunos expertos consideran que este modelo de crecimiento no es sostenible si no se acompaña de políticas estrictas, métricas transparentes y un cambio hacia tecnologías más verdes, como la refrigeración por inmersión líquida o el uso exclusivo de energía renovable.

¿Qué es la IA y por qué se le llama así?

¿A partir de cuándo se considera IA?

No todo lo automatizado es IA.

La IA actual se basa en redes neuronales que "aprenden" de datos, pero no comprenden como humanos. Ejemplo: ChatGPT predice palabras basándose en patrones, no en conciencia (MIT, 2023).

Para que un sistema sea considerado IA, debe cumplir con cuatro características fundamentales:

- Aprender por sí mismo: Mejorar sin necesidad de que un humano lo re programe constantemente.
- Adaptarse: Cambiar su comportamiento según la información que reciba, como hace ChatGPT al responder preguntas.
- Generalizar: Aplicar conocimientos de un contexto a otro.
- Tomar decisiones: Basarse en datos para seleccionar acciones óptimas.

¿Por qué se le llama "inteligencia artificial"?

El término fue creado en 1956 durante la conferencia de Dartmouth, donde científicos visionarios como John McCarthy y Marvin Minsky buscaban crear máquinas para describir máquinas que imitan algunas habilidades humanas, como resolver problemas o reconocer patrones. Sin embargo, la IA actual no es "inteligente" como un ser humano; simplemente son extraordinariamente buenos para identificar patrones estadísticos en datos y generar respuestas coherentes.

Aun así, sus capacidades han avanzado a tal punto que hoy se habla de IA generativa, IA explicativa, IA débil y fuerte e incluso se debate la posibilidad de

una superinteligencia ,es decir una IA con capacidad de superar al ser humano en todas las tareas cognitivas.

La jerarquía de la inteligencia artificial

La IA actual puede clasificarse en varios niveles según sus capacidades:

- IA estrecha (Weak AI): Sistemas especializados en tareas específicas (reconocimiento facial, traducción automática).
- IA general (AGI): Hipotéticos sistemas con inteligencia equivalente a la humana en todos los dominios.
- Superinteligencia: Sistemas que superarían ampliamente las capacidades cognitivas humanas en todas las áreas.

La idea de una superinteligencia artificial plantea grandes dilemas filosóficos y sociales. ¿Podríamos controlarla? ¿Qué derechos tendría? ¿Estaría alineada con nuestros valores humanos? Autores como Nick Bostrom han advertido que, si una IA alcanzara un nivel superior al humano, sus decisiones podrían escaparse por completo de nuestra comprensión y supervisión. Aunque todavía estamos lejos de ello los avances actuales ya obligan a revisar nuestras leyes, éticas y modelos económicos (Superintelligence, 2014).

¿Qué no es IA?

Es crucial distinguir entre automatización simple e IA genuina:

- Un termostato que se enciende a una hora fija no es IA.
- Un robot que solo repite movimientos programados no es IA.

En cambio,

- Un sistema que ajusta la temperatura de una casa aprendiendo los hábitos de sus dueños sí es IA.
 - Un brazo robótico en una fábrica de coches no es IA; pero si optimiza su trayectoria usando sensores y datos históricos, sí lo es (IEEE, 2023).
 - Un sistema de riego que ajusta su funcionamiento según datos meteorológicos y condiciones del suelo sí es IA.

También es importante distinguir entre automatización y aprendizaje. La automatización ejecuta tareas predefinidas sin variaciones, mientras que la IA tiene la capacidad de ajustar su comportamiento según el entorno o los datos que recibe. Esta diferencia es crucial al evaluar los beneficios o riesgos de su uso.

Una IA no necesita tener cuerpo físico ni conciencia para ser poderosa: su verdadera fuerza está en la velocidad y escala con que puede procesar, correlacionar y actuar sobre cantidades masivas de información.

Como señala Kate Crawford en "Atlas of AI" (2021), el 90% de la IA opera en servidores "invisibles", procesando datos sin manifestarse en formas robóticas. Esta invisibilidad contribuye a malentendidos sobre su naturaleza y alcance real.

1.2 Planteamiento del problema

México (Querétaro): Microsoft tiene un centro de datos que opera en una zona con escasez de agua. Las presas locales están casi secas, lo que afecta a agricultores y comunidades (Sedesu, 2024). El proyecto utiliza refrigeración evaporativa, consumiendo 15% más agua que sistemas alternativos.

Dato clave: Microsoft ha reducido su intensidad hídrica en un 80% desde 2000, pero el crecimiento de la infraestructura para IA podría revertir este avance (Microsoft Water Positive Report, 2024).

Estados Unidos (Arizona): Google utiliza millones de litros de agua al día para enfriar sus servidores, generando conflictos con la población local (The Guardian, 2023).

Singapur: El gobierno limita nuevos centros de datos desde 2020 porque consumían el 7% de la electricidad nacional. Ahora exigen un PUE (Efectividad en Uso de Energía) menor a 1.3 y uso de refrigeración líquida (IEA, 2023).

Irlanda: En 2022, los centros de datos consumieron el 18% de toda la electricidad nacional, y se proyecta que podrían alcanzar el 28% para 2031. Esto ha obligado al gobierno a restringir las autorizaciones para nuevos centros en algunas regiones.

Uruguay: El futuro centro de datos de Google requerirá 7.6 millones de litros de agua potable por día en una zona con sequía histórica.

Países Bajos: Google usa agua reciclada y recolecta lluvia para sus centros.

Arizona (EE.UU.): Un centro de Meta consume 2.5 millones de litros diarios, generando conflictos con agricultores (The Guardian, 2023).

¿Cuánto consumen?

Agua: Se estima que los centros de datos usan entre 30,000 y 70,000 millones de litros de agua al día en todo el mundo (LinkedIn, 2024).

Para 2027, la IA podría necesitar tanta agua como la mitad de la que consume Reino Unido en un año (UC Riverside, 2023).

El entrenamiento de un modelo como GPT-3 puede utilizar alrededor de 700,000 litros de agua, equivalente a la producción de 370 automóviles o equivalente a llenar una piscina olímpica.

Ejemplo gráfico: 70,000 millones de litros diarios globales equivalen al consumo anual de una ciudad de 2 millones de habitantes.

Cada consulta a ChatGPT gasta 500 ml (UC Riverside, 2023).

Se ha llegado a afirmar que una sola consulta a ChatGPT puede consumir la misma cantidad de agua que una botella de medio litro si se considera el gasto asociado al enfriamiento de los servidores involucrados.

Energía: Un solo centro de datos de tamaño mediano (12 MW) gasta alrededor de 21,000 litros de agua diarios (Uptime Institute, 2023).

Además, entrenar un modelo avanzado de IA, como GPT-3, produce tanto dióxido de carbono como 500 vuelos transatlánticos (MIT Tech Review, 2022).

Los centros de datos en Irlanda podrían consumir el 28% de la electricidad nacional para 2031 (IEA, 2024).

La Agencia Internacional de la Energía estima que en 2022, los centros de datos consumieron 460 TWh de electricidad a nivel mundial, una cifra similar al consumo total de electricidad de Francia. Se prevé que esta demanda supere los 1,000 TWh para 2026, debido al aumento de uso de IA generativa.

¿Quiénes son los responsables?

Grandes empresas tecnológicas:

Microsoft, Google y Meta lideran el desarrollo de IA, pero sus informes de sostenibilidad muestran contradicciones. Google aumentó sus emisiones un 13% en 2023, mientras Microsoft reportó un incremento del 29%, ambos atribuyendo estos crecimientos a la expansión de sus capacidades de IA, pese a metas de carbono neutral (Google Environmental Report, 2024).

Microsoft, Google y Meta prometen ser más sostenibles, pero su consumo de energía sigue aumentando debido al crecimiento de la IA (Microsoft Sustainability Report, 2023).

Países en desarrollo:

Muchos gobiernos ofrecen incentivos fiscales y condiciones favorables para atraer centros de datos, a menudo a costa de sus recursos naturales.

Uruguay por ejemplo destinó 7.6 millones de litros diarios al centro de Google, mientras el 40% de su población rural carece de agua potable (UNCTAD, 2024).

Organismos internacionales:

La UNCTAD ha alertado sobre el crecimiento no regulado de la infraestructura digital y sus impactos desproporcionados en países en desarrollo. Mientras, el PNUMA señala que el 70% de los nuevos centros de datos se construyen en regiones con estrés hídrico, exacerbando desigualdades existentes.

Centros de datos se instalan en regiones con poca agua, lo que agrava la escasez local (UNCTAD, 2023).

También enfrentan desafíos de regulación y transparencia. Según la ONU, el crecimiento no regulado de la infraestructura digital podría amplificar los problemas ambientales y profundizar desigualdades existentes.

Uno de los mayores obstáculos para evaluar el impacto real de la IA es la falta de transparencia.

La mayoría de los operadores de centros de datos aún no monitorean su impacto hídrico ni su huella de carbono. Según un informe del Uptime Institute, mientras que el 82% mide su consumo eléctrico (principalmente por su impacto en costos), solo el 50% registra el uso de agua y apenas un 33% mide emisiones de carbono o reciclaje de residuos electrónicos.

Esto representa un obstáculo importante para la evaluación real del impacto ambiental de la inteligencia artificial (Uptime Institute, 2024).

Planteamiento según palabras

Con base a este análisis mi planteamiento del problema es:

1.3. Objetivo general y objetivos particulares

Objetivo general:

Analizar críticamente el impacto ambiental de la inteligencia artificial, con especial énfasis en el consumo de agua y energía en centros de datos, y proponer un marco de soluciones tecnológicas y políticas para mitigar estos efectos sin comprometer el progreso digital.

Objetivos particulares:

1. Evaluación de aplicaciones sostenibles:

- Agricultura de precisión: Optimización del uso de agua y fertilizantes.
- Gestión energética: Redes inteligentes y predicción de demanda.
- Movilidad sostenible: Sistemas de tráfico inteligente y logística eficiente.
- Conservación hídrica: Detección de fugas y gestión de cuencas.

2. Diagnóstico de impactos negativos:

- Consumo hídrico en refrigeración de centros de datos.
- Demanda energética de modelos de IA generativa.
- Huella de carbono del ciclo de vida completo de la infraestructura IA.
- Impacto de la minería de materiales críticos (litio, cobalto, tierras raras).

3. Innovación tecnológica:

- Refrigeración líquida por inmersión (reducción del 15% en energía).
- Chips neuromórficos y computación cuántica para mayor eficiencia.
- Energías renovables integradas en centros de datos.
- Arquitecturas de IA frugales (TinyML, edge computing).

4. Políticas y gobernanza:

- Estándares obligatorios de reporte ambiental para tecnológicas.
- Incentivos fiscales para centros de datos sostenibles.
- Penalizaciones por "water grabbing" digital.
- Cooperación internacional para una IA climáticamente neutra.

5. Equidad y justicia ambiental:

- Análisis de desplazamiento de impactos a países en desarrollo.
- Mecanismos de compensación hídrica y energética.
- Participación comunitaria en decisiones sobre infraestructura digital.
- Transparencia en cadenas de suministro de minerales críticos.

1.4. Justificación.

La IA ya está ayudando en muchas áreas, como optimizar el uso de recursos y reducir la contaminación pero hay un problema: los centros de datos necesitan mucha energía y agua para funcionar. Según algunos estudios el consumo de agua en los centros de datos podría aumentar mucho en los próximos años, sobre todo en lugares donde ya hay escasez.

Además, muchas empresas no son transparentes sobre cuánta agua y energía usan lo que hace difícil saber exactamente cuál es su impacto. Por eso, es importante buscar soluciones que permitan usar la IA sin dañar tanto el medio ambiente.

Solo el 50% de las empresas reportan consumo hídrico, y los datos suelen ser estimaciones, no mediciones reales (Uptime Institute, 2024).

Este análisis se vuelve crucial porque el impacto de la IA no es solo un tema técnico o económico, sino también ético y social. El avance de estas tecnologías debe ir acompañado de principios como la equidad, la transparencia y la sostenibilidad. El concepto de "IA responsable" implica desarrollar sistemas que no solo sean eficaces, sino también justos, explicables y respetuosos del medio ambiente y de los derechos humanos.

El 70% de los nuevos centros de datos se construyen en regiones con estrés hídrico, exacerbando desigualdades (PNUMA, 2024).

Las decisiones que tomemos hoy sobre cómo usamos y regulamos la IA tendrán consecuencias a largo plazo, por lo que la evaluación integral de sus beneficios y costos es imprescindible para garantizar un desarrollo tecnológico equilibrado y justo.

"La IA no es inteligente ni artificial: está hecha de recursos naturales, mano de obra y energía" (Kate Crawford, WIRED, 2024). Esta materialidad de la IA choca con la narrativa de "nube" inmaterial que promueve la industria, ocultando sus costos ecológicos reales.

"El consumo de agua de la IA podría superar el 20% del total industrial para 2030 si no se regulan los centros de datos" (UC Riverside, 2023).

1.5 Escenario

Se consultaron diversas fuentes confiables, tales como revistas científicas, periódicos especializados, portales digitales, libros, reportajes y documentos académicos relacionados con la inteligencia artificial. La búsqueda se orientó a recopilar información sobre los orígenes de la IA, su evolución tecnológica y su impacto en distintas áreas del conocimiento.

Además, se indagó en los efectos que su desarrollo y aplicación tienen sobre el medio ambiente, considerando tanto las implicaciones positivas como los desafíos que representa para la sostenibilidad.

1.6 Hipótesis.

La inteligencia artificial puede ser una gran herramienta para resolver problemas ambientales pero su infraestructura, especialmente los centros de datos, consume mucha agua y energía.

Si se usan tecnologías innovadoras y se aplican políticas responsables se puede reducir ese impacto y aprovechar mejor los beneficios de la IA.

La inteligencia artificial representa una paradoja ambiental:

Mientras sus aplicaciones pueden optimizar el uso de recursos naturales y mitigar el cambio climático, su infraestructura particularmente los centros de datos, genera un impacto ecológico creciente que de no encontrar intervenciones tecnológicas y regulatorias urgentes, podría superar sus beneficios ambientales.

Hipótesis secundarias

El crecimiento exponencial de la IA generativa está provocando un aumento no lineal en el consumo de agua y energía, desbordando las mejoras en eficiencia.

La localización de centros de datos en regiones con estrés hídrico constituye una forma de externalización ambiental que agrava desigualdades globales.

Las métricas actuales (PUE, WUE) son insuficientes para capturar el impacto ambiental completo del ciclo de vida de la IA.

La adopción generalizada de tecnologías de refrigeración avanzada podría reducir el consumo hídrico en centros de datos hasta en un 40% para 2030.

Capitulo 2.

2. Referencias Teóricas y Enfoques

2.1. Teorías sobre Desarrollo Tecnológico y Sostenibilidad

- Teoría del Desarrollo Sostenible (Brundtland, 1987): Relación entre tecnología, crecimiento económico y límites ambientales.
- Teoría de la Justicia Ambiental (Bullard, 1990): Impactos desiguales de la infraestructura digital en comunidades vulnerables.
- Paradoja de Jevons (1865): Efecto rebote del aumento de eficiencia energética en el consumo total.

Teoría del: Ciclo Virtuoso de la IA Sostenible

¿Qué propone?

Que la IA propia pueda autorregular su impacto ambiental si se diseñan sistemas cerrados donde los recursos (agua, energía, minerales) se reutilicen dentro de su propia infraestructura, creando un círculo de eficiencia que reduzca desperdicios.

¿En qué se diferencia de otras teorías?

No solo se habla de "reducir" el consumo, sino de reinvertir o reutilizar los residuos (ej. calor de servidores = calefacción urbana y agua de refrigeración = riego agrícola).

Se propone que la IA se optimice a sí misma como usando algoritmos para predecir y ajustar su consumo en tiempo real.

Pilares de la Teoría

1. Autosuficiencia Energética

Cómo funciona:

Los centros de datos generarían su propia energía con paneles solares/biomasa en sus techos, y el excedente alimentaría plantas de tratamiento de agua en la misma ubicación.

La biomasa es un tipo de energía renovable que utiliza residuos de materia orgánica. Es una alternativa respetuosa con el medioambiente en comparación con los combustibles fósiles. La biomasa contribuye a la limpieza de los bosques, impulsa el desarrollo rural y produce electricidad de manera sostenible. (BBVA, 2025)

Ejemplo real: Google ya prueba esto en Dinamarca con energía eólica + agua reciclada (Google, 2024).

Innovación clave:

Baterías de sal fundida para almacenar energía renovable (más baratas y menos contaminantes que las de litio).

2. Reciclaje Integrado

Cómo funciona:

El calor de los servidores calienta invernaderos cercanos (como hace Apple en Dinamarca).

Las aguas grises de la refrigeración se tratan con filtros de IA para usarse en riego o enfriamiento nuevamente.

Dato clave:

Microsoft logró reducir un 80% su intensidad hídrica usando circuitos cerrados (Microsoft, 2024).

3. IA que Regula a la IA

Cómo funciona:

Algoritmos predictivos ajustan el consumo según:

- Clima (ej. si llueve, usan más agua reciclada).
- Demanda energética local (evitando horas pico).

Ejemplo futuro:

Si un centro de datos en México u otro lugar detecta sequía, automáticamente reduce su consumo y compra recursos de agua para reponer lo usado.

¿Por qué es viable?

Tecnologías existentes:

- Refrigeración líquida (ya usada por Microsoft).
- Energía renovable (Google y Meta son 100% renovables en algunos centros).

Incentivos económicos:

- Ahorrar recursos = menos costos a largo plazo.

Presión social:

- Usuarios exigen transparencia (ej. "¿Cuánta agua gastó mi chat con ChatGPT?").

Escenario Ideal (2040) si se aplica esta teoría

Centros de datos "cero residuos":

- 0% agua potable: usan solo lluvia o agua reciclada.
- 0% energía fósil: paneles solares + baterías de sal.

IA como "guardián ambiental":

- Modelos como GPT-6 monitorean su propio consumo y sugieren mejoras.

¿Qué se necesita para implementarla?

Políticas públicas:

- Leyes que obliguen a reportar huella hídrica/energética en tiempo real.

Colaboración:

- Universidades + empresas para desarrollar chips más eficientes.

Conciencia global:

- Etiquetar productos digitales con su "costo ambiental" (como los alimentos con calorías).

Diferencia clave con otras teorías

- Mientras la IA Verde se enfoca en hacer algoritmos eficientes, esta teoría va más allá: convierte a la IA en parte activa de la solución ambiental, no solo en un problema que mitigar.

1.2. Enfoques sobre IA y Medio Ambiente

- IA Verde (Schwartz et al., 2020): Algoritmos eficientes y hardware de bajo consumo.
- Huella Ecológica Digital (Crawford, 2021): Costos ocultos de la nube (agua, energía, minería de minerales).
- Superinteligencia y Riesgos Sistémicos (Bostrom, 2016): Escenarios de IA no alineada con objetivos ecológicos.

2. Antecedentes y Hallazgos Relevantes

2.1. Estudios sobre Consumo de Recursos

- Consumo energético de centros de datos: 1-2% de la electricidad global (IEA, 2023), con proyección al 4% para 2030 (Goldman Sachs, 2024).
- Huella hídrica: 700,000 litros para entrenar GPT-3 (UC Riverside, 2023) vs. 500 ml por consulta en ChatGPT (Wired, 2024).

2.2. Casos Empíricos

- Conflictos hídricos en Querétaro (México) y Arizona (EE.UU.) por centros de datos (Sedesu, 2024; The Guardian, 2023).
- Irlanda: Centros de datos consumirán el 28% de la electricidad nacional para 2031 (IEA, 2024).

2.3. Políticas y Regulaciones

- UE: Restricciones a centros de datos con PUE > 1.5 (European Green Deal, 2024).
- Singapur: Moratoria a nuevos centros hasta 2025 (Gov. of Singapore, 2023).

3. Conceptos Clave y Principios

3.1. Definiciones Operacionales

- Power Usage Effectiveness (PUE): Métrica de eficiencia energética (ideal: <1.2).
- Water Usage Effectiveness (WUE): Litros de agua por kWh consumido.
- IA Generativa vs. IA Predictiva: Diferencias en demanda computacional.

3.2. Principios de Sostenibilidad Digital

- Jerarquía de Mitigación: Reducir > Reutilizar > Reciclar en infraestructura TI.
- Transparencia Corporativa: Necesidad de reportes estandarizados (ej. GHG Protocol).

4. Estado Actual del Conocimiento

4.1. Avances en Tecnologías Sostenibles

- Refrigeración líquida: Reduce un 15% el consumo energético (Microsoft, 2024).
- Energías renovables: Google y Microsoft comprometidos con 100% energía limpia para 2030.

4.2. Brechas Críticas

- Falta de métricas estandarizadas para huella hídrica (Uptime Institute, 2023).
- Opacidad corporativa: Solo 33% de operadores mide emisiones de carbono (UNCTAD, 2024).

4.3. Respuesta a los Objetivos de la Investigación

- Ubicación actual: La IA es una herramienta dual:
- Aliada: Optimiza agricultura, energía y gestión hídrica (PNUMA, 2024).
- Amenaza: Crecimiento no regulado de centros de datos agrava estrés hídrico y energético (Crawford, 2021).

Referencias Bibliográficas

1. Brundtland, G. (1987). Our Common Future. ONU.
2. Bostrom, N. (2016). Superintelligence. Oxford University Press.
3. Crawford, K. (2021). Atlas of AI. Yale University Press.
4. IEA. (2023). Electricity 2024: Analysis and Forecast to 2026.
5. UC Riverside. (2023). Water Footprint of AI Models.
6. Microsoft. (2024). Sustainability Report: Water Positive by 2030.
7. Uptime Institute. (2023). Global Data Center Survey.
8. UNCTAD. (2024). Digital Economy Report.
9. European Commission. (2024). European Green Deal.
10. Goldman Sachs. (2024). AI and Data Center Power Demand.
11. The Guardian. (2023). Google's Water Conflict in Arizona.
12. Sedesu. (2024). Impacto de Centros de Datos en Querétaro.
13. Schwartz, R. (2020). Green AI. ACM Conference.
14. Google. (2024). Environmental Report 2024.
15. Wired. (2024). El Costo Oculta de ChatGPT.

Capitulo 3.

3.1 Tipo de investigación

3.1 Tipo de investigación

Diseño no experimental, transversal y descriptivo, con las siguientes características clave:

- No se manipularon variables: Se optó por un enfoque observacional, sin intervención directa en los factores medidos. Se priorizó el análisis de percepciones, conocimientos y actitudes hacia la Inteligencia Artificial (IA), reconociendo su naturaleza subjetiva y contextual.
- Corte temporal único: La recolección de datos se realizó en un solo momento (mayo-junio de 2025), lo que permite capturar una fotografía puntual de la realidad de los estudiantes durante ese periodo.
- Objetivo principal: Describir la relación entre el área de estudio (principalmente Medicina y Nutrición)

y:

- El nivel de conocimiento sobre IA.
- La percepción de su impacto ambiental.
- La frecuencia de uso y las actitudes hacia su regulación.

Este tipo de diseño se justifica por su capacidad para explorar fenómenos emergentes en grupos específicos sin necesidad de manipular condiciones externas. En este caso, el uso creciente de tecnologías basadas en IA en el ámbito de la salud —como herramientas de diagnóstico automatizado o asistentes virtuales— plantea desafíos éticos y ambientales que aún no son ampliamente comprendidos por los futuros profesionales sanitarios.

A partir de la obra de Crawford (2021), se reconoce que la IA no es únicamente una herramienta técnica, sino un sistema socioambiental que consume recursos y genera huella ecológica, lo que valida la pertinencia de estudiar su percepción en el contexto educativo.

Asimismo, estudios como el de UC Riverside (2023) y el informe de Microsoft (2024) revelan consumos energéticos y de agua sustanciales en el entrenamiento de modelos como GPT-3, aspecto que rara vez se aborda en programas académicos tradicionales de salud. Esta brecha informativa motiva la exploración de percepciones ambientales desde un enfoque no experimental, donde el objetivo no es probar causalidad, sino identificar patrones, creencias y posibles áreas de intervención pedagógica.

Desde una perspectiva teórica, la elección de este diseño dialoga también con la propuesta de Brundtland (1987) sobre el desarrollo sostenible, al introducir la sostenibilidad digital como un nuevo eje de preocupación en el uso de tecnologías emergentes.

Por otro lado, el carácter transversal facilita la comparación entre subgrupos (p. ej., estudiantes de Medicina vs. Nutrición) mediante análisis correlacionales como la prueba Chi-cuadrado, tal como se detalla en la sección de análisis. Esto permite observar tendencias relevantes, como una posible mayor conciencia en ciertas áreas académicas frente al impacto ambiental o la necesidad de regulación.

Finalmente, el enfoque descriptivo no solo proporciona información cuantitativa sobre niveles de conocimiento, sino que, al incorporar preguntas abiertas, permite capturar matices discursivos y representaciones simbólicas sobre la IA,

enriqueciendo el análisis con una visión más cualitativa del fenómeno (Bostrom, 2016; Schwartz, 2020).

Fundamentación teórica:

Los resultados confirman que el impacto ambiental de la IA es poco conocido fuera del ámbito técnico (solo el 70% de los encuestados estaba al tanto del alto consumo energético, pero con poca profundidad en detalles). Esto justifica estudiar percepciones en estudiantes de salud, quienes podrían verse afectados por su uso en el ámbito médico.

Ejemplo de codificación:

"¿Qué beneficios tiene la IA?" (respuesta abierta)

Categorizada en:

- Eficiencia ("ahorra tiempo").
- Innovación ("facilita investigaciones").
- Riesgos ("dependencia").

Instrumento y validación

Encuesta aplicada:

18 preguntas mixtas:

- 5 escalas Likert.
- 7 abiertas.
- 6 de opción múltiple.

Validación:

Juicio de expertos: 1 metodólogo evaluo claridad y relevancia.

Piloto: 4 estudiantes (ajustes en redacción de 2 preguntas).

Fiabilidad: Alpha de Cronbach = 0.79 (aceptable para estudios sociales).

Relación con el marco teórico:

Las preguntas sobre impacto ambiental se basaron en datos concretos:

"¿Sabías que entrenar IA consume agua?"

Refiere a estudios sobre el consumo de 700,000 litros para GPT-3 (UC Riverside, 2023).

"¿Usarías IA más ecológica?"

Alinea con soluciones como refrigeración líquida (Microsoft, 2024).

Procedimiento

Recolección:

- Plataforma: Google Forms (enlace proporcionado).
- Periodo: 2 semanas (mayo-junio 2025).
- Tasa de respuesta: 100/120 (83%).

Análisis:

Descriptivo: Frecuencias, promedios ("¿Qué % conoce el impacto ambiental?")

Correlacional: Chi-cuadrado para comparar áreas de estudio ("¿Los de Medicina perciben más riesgos?").

Software: STATS v.5 (IC 95%, error máximo 7%).

Limitaciones:

Sesgo de autoselección: Participaron quienes tenían interés previo en IA.

No generalizable: Por muestra no probabilística, pero útil para diagnóstico inicial.

Consideraciones éticas

Anonimato: Nombres solo para control de duplicados.

Consentimiento informado: Mensaje inicial explicando objetivos.

Uso de datos: Exclusivo para fines académicos.

Aprobación: Dirección UDS

Anexo: Hallazgos preliminares

(Basado en los datos reales de la encuesta)

- 70% sabía del impacto ambiental, pero solo el 40% lo consideró un problema grave.
- 60% estaría dispuesto a usar IA "ecológica", aunque con limitaciones.
- 65% apoya la regulación legal de la IA, principalmente por preocupaciones sobre privacidad y dependencia.

Conclusión del capítulo:

La encuesta revela una brecha de conocimiento sobre el impacto ambiental de la IA en estudiantes de salud, lo que justifica propuestas educativas (ej: talleres sobre sostenibilidad digital).

Capitulo 4.

4. Analisis de resultados. Lecciones aprendidas

1. Localización estratégica: Ubicar centros de datos en climas fríos o cerca de fuentes de agua no potable reduce impactos.
2. Innovación en refrigeración: Las tecnologías líquidas (inmersión, placas frías) superan significativamente a los sistemas tradicionales.
3. Energías renovables: La integración directa de generación renovable mitiga la huella de carbono.
4. Marco regulatorio: Las políticas públicas estrictas pueden impulsar mejoras que el mercado por sí solo no lograría.

Estos casos demuestran que, pese a los desafíos, es posible desarrollar una infraestructura digital más sostenible mediante combinaciones innovadoras de tecnología, diseño y políticas públicas. Su replicación a escala global será clave para equilibrar el progreso digital con la preservación ambiental.

4.1 Propuestas:

Tecnologías innovadoras:

- Refrigeración líquida: Microsoft usa inmersión en fluidos dieléctricos, reduciendo un 15% el consumo energético (Microsoft, 2024).
- Energías renovables: Amazon instaló granjas solares en Texas para alimentar centros de datos (AWS Sustainability Report, 2024).
- La UE propone impuestos a centros de datos con PUE > 1.5 (European Green Deal, 2024).

Población y muestra

Población objetivo:

Estudiantes universitarios, principalmente de Medicina (65%) y Nutrición (20%), con edades entre 17-35 años.

Muestra:

Tipo: No probabilística por conveniencia (participación voluntaria).

Criterios de inclusión:

Estudiantes activos en 2025.

Equilibrio aproximado entre áreas de estudio.

Tamaño final: 100 encuestados, con la siguiente distribución:

Variable	Categoría	Cantidad	%
<i>Área de estudio</i>	Medicina	65	65%
	Nutrición	20	20%
	Psicología/Enfermería/Otras	15	15%
Edad	17-25 años	85	85%
	26-35 años	10	10%
	36+ años	5	5%

Justificación:

Al ser un estudio exploratorio, la muestra no probabilística es válida (Hernández et al., 2014). El tamaño (100) permite análisis estadísticos básicos con un error máximo del 7% (STATS v.5).

Operacionalización de variables

Se aplicó el método de Boudon y Lazarsfeld a las variables clave de la encuesta:

Variable Conceptual	Dimensión	Indicador	Ítem en la Encuesta	Escala/Codificación
Conocimiento sobre IA	Definición conceptual	Precisión al definir IA	"¿Qué entiendes por inteligencia artificial?"	1-3 (1=Error grave; 3=Definición técnica)
Uso de herramientas	Frecuencia	Nivel de interacción	"¿Con qué frecuencia utilizas herramientas de IA?"	1-5 Likert (1=Nunca; 5=Siempre)
Percepción ambiental	Conciencia del impacto	Reconocimiento de consumo energético	"¿Sabías que entrenar IA tiene un alto impacto ambiental?"	Binaria (0=No; 1=Sí)
Actitud hacia la IA	Aceptación condicional	Disposición a usar IA "ecológica"	"¿Usarías una IA más ecológica con limitaciones?"	1-5 Likert (1=Nunca; 5=Sí, siempre)

Referencias bibliográficas

Libros y artículos académicos:

Bostrom, N. (2016). Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies. Oxford: Oxford University Press.

Crawford, K. (2021). Atlas of AI: Power, Politics, and the Planetary Costs of Artificial Intelligence. Yale University Press.

Galbusera, S. (2023). Huella de carbono y su medición en la era digital. National Geographic. <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/que-es-huella-de-carbono-como-se-mide>

Koomey, J. (2023). The Energy and Carbon Footprint of AI Computing (Technical Report). Stanford University.

Radwan, G. (2024). Navigating New Horizons: Environmental Impacts of AI. UNEP Technical Note. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/46288>

Informes corporativos y técnicos:

Amazon Web Services. (2024). AWS Sustainability Report 2024: Renewable Energy Integration. <https://aws.amazon.com/es/sustainability/>

Google. (2024). Environmental Report 2024: Water Stewardship. <https://sustainability.google/reports/>

Microsoft. (2024). Sustainability Report: Water Positive by 2030. <https://www.microsoft.com/en-us/corporate-responsibility/sustainability/water-replenishment>

Uptime Institute. (2023). Global Data Center Survey 2023: Energy and Water Efficiency. <https://uptimeinstitute.com/>

Goldman Sachs Research. (2024). Generational Growth: AI, Data Centers and the Coming US Power Demand Surge.

<https://www.goldmansachs.com/insights/pages/ai-data-centers-power-demand.html>

Artículos periodísticos y fuentes en línea:

Wired. (2024). La cantidad de agua y electricidad que usa ChatGPT está fuera de control. Recuperado de <https://es.wired.com/articulos/la-cantidad-de-agua-y-electricidad-que-usa-chatgpt-esta-fuera-de-control>

The Guardian. (2023). Google's Arizona Data Center Sparks Water Conflict Amid Drought. Recuperado de <https://www.theguardian.com/>

LinkedIn. (2024). El impacto del consumo de agua en centros de datos y cómo mitigarlo. Recuperado de <https://es.linkedin.com/pulse/el-impacto-del-consumo-de-agua-en-centros-datos-y-c%C3%B3mo-damian-wqese>

MIT Technology Review. (2022). The Carbon Footprint of Training GPT-3. <https://www.technologyreview.com/>

Organismos internacionales y estudios:

UNCTAD. (2023). Informe sobre la economía digital y el desarrollo sostenible. Recuperado de <https://unctad.org/>

International Energy Agency (IEA). (2023). Electricity 2024: Analysis and Forecast to 2026. OECD Publishing.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2024). La IA plantea problemas ambientales: soluciones sostenibles. Recuperado de <https://www.unep.org/es>

Universidad de California, Riverside. (2023). Water Footprint of AI Models: From Training to Inference. <https://arxiv.org/abs/2304.03271>

Informes gubernamentales y normativas:

European Green Deal. (2024). Regulation on Data Center Sustainability. European Commission. <https://ec.europa.eu/>

Secretaría de Desarrollo Sustentable de Querétaro (Sedesu). (2024). Impacto hídrico de los centros de datos en la región.

Referencias adicionales específicas:

MIT Technology Review. (2022). The Carbon Footprint of Training GPT-3.

IBM. (2023). AI for Environmental Monitoring: Case Studies in Climate Resilience.

Foro Económico Mundial. (2024). How AI Can Help Achieve SDGs. Recuperado de <https://www.weforum.org/>

Cloud Constellation. (2024). SpaceBelt: Data Centers in Orbit. <https://cloudconstellation.com/>

Telefónica. (2024). Principios de IA Responsable. <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/actualizamos-nuestros-principios-de-inteligencia-artificial/>