

Análisis Comparativo del Consumo de Agua en Modelos de IA y Sectores Productivos

Consumo de Agua en el Entrenamiento de Modelos de IA y Producción Agrícola

El consumo de agua asociado al entrenamiento de modelos avanzados de inteligencia artificial (IA), como GPT-3 o Gemini, ha emergido como un tema crítico dentro del debate sobre la sostenibilidad tecnológica. Según estudios recientes, entrenar grandes modelos de lenguaje puede requerir hasta 5.4 millones de litros de agua

9

. Este volumen incluye tanto el agua consumida directamente para enfriar los centros de datos como el agua incorporada en la fabricación de hardware esencial, como chips y servidores. Por ejemplo, un solo centro de fabricación de semiconductores puede retirar varios millones de litros de agua diariamente, utilizados principalmente para la purificación necesaria en la producción de obleas de silicio. Aunque algunas instalaciones han implementado sistemas de reciclaje, las tasas de reutilización siguen siendo bajas en muchos casos, lo que subraya la necesidad de mejorar estos procesos

9

.

En contraste, la agricultura sigue siendo el sector más demandante de agua a nivel global, representando aproximadamente el 70% de las extracciones de agua dulce en 2022

23

. La producción agrícola intensiva, especialmente en cultivos como el algodón y productos alimenticios básicos, requiere cientos a miles de litros de agua por unidad de producto final. Por ejemplo, se estima que producir un kilogramo de algodón puede consumir hasta 10,000 litros de agua debido a los altos requisitos de riego. De manera similar, la ganadería intensiva también supera significativamente el consumo de agua asociado con infraestructuras tecnológicas. Un estudio indica que la producción de un kilogramo de carne de res puede requerir hasta 15,000 litros de agua cuando se consideran todos los insumos relacionados, desde el cultivo de forrajes hasta el abastecimiento de agua potable para los animales

23

. Estos datos destacan cómo sectores tradicionales como la agricultura enfrentan desafíos similares a los de la tecnología en términos de optimización hídrica.

Comparar directamente estos dos sectores plantea desafíos metodológicos y conceptuales. Mientras que el agua en la agricultura se utiliza principalmente para el riego y la producción directa de alimentos, el consumo hídrico en los centros de datos está vinculado principalmente a la refrigeración y la generación de electricidad. Además, factores como la ubicación geográfica y las prácticas operativas juegan un papel crucial en la eficiencia del uso del agua. Por ejemplo, programar el entrenamiento de modelos de IA durante horas más frías o en regiones con mayor disponibilidad de agua podría reducir drásticamente su huella hídrica

9

. En el caso de la agricultura, técnicas innovadoras como el riego por goteo han demostrado ser más eficientes que los métodos tradicionales de inundación, ahorrando grandes cantidades de agua sin comprometer la productividad

23

.

Las implicaciones ambientales de ambos casos son profundas. El agotamiento de fuentes de agua dulce debido a actividades agrícolas contribuye significativamente a la escasez hídrica en regiones ya propensas a estrés hídrico. Por otro lado, el crecimiento exponencial de la infraestructura tecnológica, impulsado por la demanda de modelos de IA cada vez más complejos, plantea preocupaciones adicionales sobre la competencia por recursos limitados. En este contexto, es fundamental adoptar estrategias sostenibles que minimicen el impacto hídrico en ambos sectores. Soluciones basadas en la naturaleza, como mejorar la materia orgánica en el suelo para aumentar la infiltración y retención de agua, podrían complementarse con políticas regulatorias estrictas y mecanismos de mercado, como los sistemas de comercio de derechos de agua implementados en Australia y Chile

23

. Estos enfoques no solo promueven una gestión más equitativa del agua sino que también ofrecen posibles paralelos para regular el uso del agua en centros de datos tecnológicos.

Evaluación del Uso de Agua en la Fabricación de Bienes Cotidianos y Operación de Modelos de IA

El consumo de agua en la fabricación de bienes de uso cotidiano, como prendas de vestir y dispositivos electrónicos, representa uno de los principales retos ambientales a nivel global. Este fenómeno se vuelve aún más relevante cuando se compara con el impacto hídrico asociado a actividades emergentes, como la

operación y entrenamiento de modelos avanzados de inteligencia artificial (IA). En este análisis, se explorará en detalle cómo estos dos tipos de actividades humanas contribuyen al agotamiento de recursos hídricos, centrándose en las diferencias de escala, propósito y potenciales soluciones innovadoras para mitigar su impacto.

La producción de una sola camiseta de algodón requiere aproximadamente 2,700 litros de agua fresca, un volumen suficiente para satisfacer las necesidades de consumo humano de una persona durante 2.5 años

4

. Este dato pone de manifiesto el alto impacto hídrico del sector textil y resalta la importancia de reducir el consumo de agua en la fabricación de prendas básicas. Además, el sector textil es responsable de aproximadamente el 20% de la contaminación del agua limpia a nivel mundial debido al teñido y acabado de productos, lo que agrava el problema ambiental

4

. Las tecnologías convencionales utilizadas amplifican este impacto; por ejemplo, el teñido tradicional del algodón consume aproximadamente 125 litros de agua por kilogramo de fibra. Sin embargo, avances recientes han demostrado que tecnologías como ColorZen pueden reducir este uso en un 90%, optimizando la absorción de tintes y disminuyendo drásticamente el desperdicio de agua y energía

5

. Estas innovaciones podrían transformar significativamente las prácticas industriales tradicionales si se implementan a gran escala.

En contraste, la operación de grandes modelos de IA también presenta un impacto hídrico considerable, aunque menos evidente en comparación con la fabricación de bienes físicos. Por ejemplo, cada inferencia realizada por modelos avanzados como ChatGPT-3 puede requerir hasta 500 mililitros de agua, dependiendo del lugar y momento de ejecución

19

. Este consumo está directamente relacionado con los sistemas de enfriamiento necesarios para disipar el calor generado por los servidores en los centros de datos. Un centro de datos con una capacidad de 1 MW consume en promedio 26 millones de litros de agua al año, principalmente utilizada en procesos de enfriamiento

19

. Aunque estas cifras son significativas, es importante contextualizarlas dentro de la escala de operación: mientras que la fabricación de una prenda de vestir afecta directamente a recursos hídricos locales, los centros de datos suelen estar ubicados

estratégicamente en regiones con infraestructuras adecuadas para manejar altos volúmenes de agua.

Además de los textiles, otros sectores industriales, como la fabricación de dispositivos electrónicos, también presentan un alto consumo de agua. La producción de semiconductores, componentes esenciales para dispositivos electrónicos y tecnología de IA, requiere enormes cantidades de agua ultrapura para eliminar impurezas durante el proceso de fabricación. Se estima que una planta promedio puede consumir hasta 10 millones de galones de agua ultrapura al día, equivalente al uso diario de agua de 33,000 hogares estadounidenses

15

. Este impacto se amplifica cuando se considera que se necesitan entre 1,400 y 1,600 galones de agua municipal para producir 1,000 galones de agua ultrapura

15

. A pesar de estos desafíos, empresas como TSMC e Intel han comenzado a adoptar prácticas de reutilización y reciclaje de agua, recuperando hasta el 65% del agua utilizada en sus operaciones

15

. Estas iniciativas son cruciales para abordar la escasez de agua en regiones productoras clave, como Arizona, Estados Unidos.

La comparación entre la fabricación de bienes cotidianos y la operación de modelos de IA revela diferencias fundamentales en términos de escala y propósito. Mientras que la producción de textiles y dispositivos electrónicos está directamente vinculada a la satisfacción de necesidades básicas y el desarrollo económico, la operación de modelos de IA se centra en avances tecnológicos que buscan optimizar procesos y mejorar la calidad de vida. Sin embargo, ambos tipos de actividades comparten la responsabilidad de minimizar su impacto ambiental. En este sentido, es esencial implementar soluciones innovadoras que aborden el uso intensivo de agua en ambos sectores.

Recientemente, se han propuesto varias soluciones para reducir el consumo de agua en la fabricación de bienes y la operación de centros de datos. En el sector textil, tecnologías como DyeCoo utilizan CO₂ supercrítico en un proceso cerrado para teñir textiles sin agua, eliminando la generación de aguas residuales tóxicas y reduciendo drásticamente el uso de energía

5

. Asimismo, empresas como We aRe SpinDye han desarrollado métodos que fusionan pigmentos de color con materiales reciclados antes de convertirlos en hilos, eliminando el uso de agua durante el proceso

5

. En el ámbito de la tecnología, la implementación de sistemas de enfriamiento alternativos, como el enfriamiento por aire o tecnologías híbridas, podría mejorar significativamente la eficiencia hídrica en los centros de datos

19

. Además, la propuesta de un 'EU Blue Deal' enfatiza la necesidad de priorizar el agua como un recurso estratégico dentro de todas las políticas de la Unión Europea, sugiriendo la creación de un fondo de transición específico para financiar iniciativas relacionadas con la eficiencia hídrica

19

.

Impacto Hídrico Regional en la Gestión del Agua para IA y Alimentos

El impacto hídrico regional es un tema de creciente relevancia en el contexto global debido a la convergencia de múltiples factores, como el cambio climático, las demandas tecnológicas emergentes y las necesidades agrícolas. La gestión del agua en diferentes regiones geográficas está estrechamente determinada por variaciones climáticas, infraestructuras existentes y políticas locales, lo que genera profundas diferencias entre Europa y América del Norte en este ámbito

24

. Este análisis se centra en cómo estas dos regiones abordan los desafíos relacionados con el uso del agua en sectores clave como la inteligencia artificial (IA) y la agricultura alimentaria.

Desde una perspectiva geográfica, Europa enfrenta una serie de desafíos únicos derivados de su diversidad climática y sus patrones de precipitación. Los países del sur de Europa, como España, Italia y Grecia, son particularmente vulnerables a la escasez hídrica debido a condiciones áridas o semiáridas, exacerbadas por el cambio climático

24

. Por ejemplo, en estas regiones, las sequías prolongadas han reducido significativamente los recursos hídricos disponibles para actividades agrícolas intensivas, que representan aproximadamente el 28% del consumo total de agua dulce en la Unión Europea, llegando a superar el 50% en algunos países mediterráneos

24

. Además, el sector energético europeo, incluidas las plantas termoeléctricas tradicionales, consume grandes cantidades de agua para refrigeración, lo que compite directamente con las necesidades agrícolas y urbanas. Aunque se están implementando transiciones hacia fuentes renovables menos intensivas en agua, como la energía solar y eólica, estos cambios no se producen a la velocidad necesaria para mitigar completamente la presión sobre los recursos hídricos

24

.

En contraste, América del Norte presenta un panorama diferente, especialmente en los Estados Unidos, donde las capacidades tecnológicas avanzadas permiten una gestión más eficiente del agua en sectores críticos como los centros de datos utilizados para entrenar modelos de IA. Por ejemplo, sistemas de enfriamiento basados en torres evaporativas en Arizona consumen entre 1 y 9 litros de agua por kWh generado, dependiendo de las condiciones climáticas locales

6

. A pesar de esto, las regiones cálidas como el suroeste de los Estados Unidos enfrentan tensiones similares a las observadas en el sur de Europa, aunque la infraestructura tecnológica avanzada allí permite optimizar el uso del agua mediante estrategias innovadoras. Estudios recientes destacan que el consumo operativo de agua en los centros de datos de empresas como Google y Microsoft ha aumentado significativamente en los últimos años, alcanzando niveles preocupantes

6

. Sin embargo, estas empresas también están liderando iniciativas para reducir su huella hídrica mediante la adopción de tecnologías alternativas, como la reutilización de aguas residuales tratadas y el desarrollo de sistemas de enfriamiento más eficientes

6

.

Desde una perspectiva regulatoria, tanto Europa como América del Norte han implementado políticas destinadas a mejorar la sostenibilidad hídrica en sus respectivos territorios. En Europa, la Política Agrícola Común (CAP) juega un papel central al integrar normativas específicas para controlar la extracción de agua y reducir la contaminación difusa por fosfatos en áreas agrícolas sensibles

11

. Además, proyectos innovadores como IRRINET-IRRIFRAME en la región italiana de Emilia-Romagna han demostrado ser altamente efectivos al ahorrar más de 50

millones de metros cúbicos de agua entre 2007 y 2013 mediante el uso de sistemas expertos que programan riegos en tiempo real

11

. Estas prácticas podrían inspirar estrategias similares en otros sectores intensivos en agua, como los centros de datos utilizados para entrenar modelos de IA, subrayando la importancia de una regulación efectiva y basada en datos científicos

11

.

En los Estados Unidos, aunque las regulaciones federales sobre el uso del agua son menos centralizadas que en Europa, ciertos estados han adoptado medidas proactivas para abordar la escasez hídrica. Por ejemplo, California ha implementado restricciones severas sobre el uso de agua potable en procesos industriales, lo que ha obligado a las empresas tecnológicas a buscar soluciones alternativas, como el uso de aguas grises y la inversión en tecnologías de enfriamiento con menor impacto hídrico

6

. Estas iniciativas reflejan un enfoque pragmático hacia la gestión del agua, aunque aún quedan desafíos significativos por resolver, especialmente en términos de coordinación entre diferentes jurisdicciones y sectores.

Finalmente, para abordar los desafíos actuales y futuros, se recomienda adoptar un enfoque integral que combine mejores prácticas internacionales observadas en cada contexto. Por ejemplo, la implementación de sistemas de monitoreo y evaluación similares a los utilizados en la CAP podría proporcionar valiosas lecciones para otros sectores, como la fabricación de dispositivos electrónicos y la operación de modelos de IA, que también dependen indirectamente del agua para su funcionamiento

11

. Además, es fundamental priorizar inversiones en tecnologías que optimicen el uso del agua, como sistemas de enfriamiento alternativos y la reutilización de aguas residuales tratadas, así como promover la cooperación internacional para compartir conocimientos y experiencias exitosas. Estas acciones no solo contribuirán a reducir el impacto hídrico combinado de la agricultura y la tecnología, sino que también fortalecerán la resiliencia frente a los efectos adversos del cambio climático en ambas regiones.

Metodologías para Evaluar y Comparar el Uso de Agua en Tecnología y Producción Alimentaria

El creciente impacto ambiental de las tecnologías computacionales y la producción agrícola ha llevado a un interés renovado en el desarrollo de metodologías que permitan medir y comparar el uso de agua en estas industrias. En particular, la huella hídrica asociada al entrenamiento e implementación de modelos de inteligencia artificial (IA) y los sistemas de riego en la agricultura representa áreas críticas de análisis debido a su dependencia directa o indirecta de recursos hídricos. Este apartado explora marcos metodológicos actuales, herramientas tecnológicas, comparaciones intersectoriales, limitaciones inherentes y futuras direcciones de investigación en este ámbito.

Uno de los enfoques más destacados en la evaluación del consumo de agua en centros de datos se basa en métricas como Water Usage Effectiveness (WUE) y Power Usage Effectiveness (PUE). Estas métricas son esenciales para cuantificar tanto el consumo directo de agua utilizado en sistemas de enfriamiento como el consumo indirecto derivado de la generación de electricidad. Según Shaolei Ren et al.

10

, la fórmula propuesta para calcular la huella hídrica de los modelos de IA es $\text{WaterFootprint} = \text{ServerEnergy} * \text{WUE}_{\text{Onsite}} + \text{ServerEnergy} * \text{PUE} * \text{WUE}_{\text{Offsite}}$. Esta ecuación permite evaluar no solo el lugar donde se entrena y opera el modelo, sino también las variaciones regionales en la eficiencia hídrica. Por ejemplo, los centros de datos ubicados en Irlanda han demostrado ser más eficientes en términos hídricos que aquellos en Washington, lo que subraya la importancia de considerar factores geográficos en la toma de decisiones. Sin embargo, la falta de transparencia en la divulgación del consumo de agua por parte de empresas tecnológicas dificulta la implementación generalizada de estas metodologías.

En contraste con los centros de datos, las cadenas productivas agrícolas han adoptado herramientas avanzadas como IRRINET-IRRIFRAME para optimizar el uso de agua en el riego. Este sistema, implementado en la región italiana de Emilia-Romagna, utiliza tecnología experta para programar riegos en tiempo real, logrando ahorros significativos de más de 50 millones de metros cúbicos de agua entre 2007 y 2013

11

. El éxito de esta iniciativa destaca cómo las innovaciones tecnológicas pueden reducir el consumo de agua en la agricultura, un sector que históricamente ha sido uno de los mayores consumidores globales de este recurso. Además, las políticas públicas, como las reglas de condicionalidad asociadas a la Política Agrícola Común (CAP) de la Unión Europea, exigen prácticas sostenibles para mitigar la contaminación difusa y controlar la extracción de agua, ofreciendo un marco normativo que podría inspirar paralelos en otros sectores intensivos en agua.

Al comparar estos enfoques con métodos empleados en otras industrias, como la textil o electrónica, surgen similitudes y diferencias notables. Por ejemplo, en la industria textil, el consumo de agua está estrechamente vinculado a procesos como el teñido y acabado, mientras que en la electrónica, el agua se utiliza principalmente en la fabricación de semiconductores y la limpieza de componentes. Aunque ambas industrias han desarrollado herramientas específicas para medir y reducir su huella hídrica, la precisión y alcance varían significativamente. En el caso de la industria textil, la falta de estándares globales uniformes complica la comparación de datos entre diferentes regiones y empresas. Por otro lado, en la electrónica, la implementación de certificaciones como ISO 14046 ha mejorado la transparencia, pero aún existen brechas en la divulgación de información detallada sobre el consumo de agua.

A pesar de los avances en cada sector, las limitaciones inherentes a estos enfoques son evidentes. En el caso de los centros de datos, la mayoría del agua utilizada proviene de fuentes potables y se evapora permanentemente en la atmósfera, lo que agrava tensiones sociales en regiones propensas a sequías

10

. En la agricultura, aunque herramientas como IRRINET-IRRIFRAME han demostrado ser efectivas, su implementación a gran escala enfrenta desafíos relacionados con la disponibilidad de infraestructura tecnológica y la capacitación de agricultores. Además, en sectores como la textil y electrónica, la falta de transparencia y la ausencia de estándares globales robustos dificultan la creación de soluciones sostenibles a nivel internacional.

Frente a estas limitaciones, es crucial proponer futuras direcciones de investigación que integren análisis financieros, ambientales y sociales para mejorar la divulgación y gestión del agua en todas las industrias analizadas. Una posible línea de investigación sería el desarrollo de una plataforma global que centralice datos sobre el consumo de agua en diferentes sectores, permitiendo comparaciones estandarizadas y facilitando la identificación de mejores prácticas. Además, sería valioso explorar cómo las políticas públicas, como las establecidas en la CAP, pueden adaptarse a contextos industriales fuera de la agricultura. Finalmente, la integración de tecnologías emergentes, como el aprendizaje automático y la inteligencia artificial, podría optimizar la gestión del agua en tiempo real, maximizando la eficiencia y minimizando el impacto ambiental.

Estrategias Emergentes para Reducir el Consumo de Agua en Sectores Industriales y Tecnológicos

En los últimos años, el consumo excesivo de agua en sectores industriales y tecnológicos ha sido un foco crítico de atención debido a su impacto ambiental y económico. Este problema es especialmente relevante en industrias intensivas en

recursos hídricos, como la textil y la tecnología de centros de datos, así como en la agricultura, que representa aproximadamente el 70% del uso global de agua dulce. En respuesta a esta problemática, diversas innovaciones han surgido para reducir significativamente el consumo de agua mediante el desarrollo de tecnologías avanzadas y la implementación de prácticas sostenibles.

Uno de los avances más destacados se encuentra en el sector textil, donde empresas líderes están revolucionando procesos tradicionales de teñido para minimizar el uso de agua. Por ejemplo, We aRe SpinDye ha desarrollado una técnica innovadora que integra pigmentos de color con materiales reciclados antes de convertirlos en hilos, eliminando por completo el uso de agua durante el proceso

5

. Esta solución no solo reduce el consumo de agua hasta en un 75%, sino que también promueve la integración de materiales reciclados en la fabricación de prendas, como lo demuestra su colaboración con marcas globales como H&M. De manera similar, DyeCoo utiliza CO₂ supercrítico en un sistema cerrado para teñir textiles sin agua, logrando una absorción del 98% de los tintes utilizados y eliminando la generación de aguas residuales tóxicas

5

. Estas tecnologías representan un cambio paradigmático en la industria textil, ofreciendo alternativas viables para mitigar el impacto ambiental asociado al teñido convencional, que consume aproximadamente 125 litros de agua por kilogramo de fibra.

Además de estas innovaciones, empresas emergentes como Faber Future y Living Colour están explorando el uso de bacterias para producir tintes naturales mediante procesos biológicos programables. Por ejemplo, *Streptomyces coelicolor* puede generar colores vibrantes dependiendo del pH del medio en el que crece, reduciendo drásticamente el consumo de agua comparado con métodos tradicionales y evitando el uso de pesticidas agrícolas necesarios para los tintes vegetales

5

. En 2020, Living Colour colaboró con PUMA para lanzar la primera colección deportiva teñida con bacterias, marcando un hito en la búsqueda de alternativas sostenibles para la industria textil europea. Sin embargo, estas innovaciones enfrentan desafíos significativos para su adopción masiva, incluyendo la falta de inversión y alianzas estratégicas con grandes corporaciones, subrayando la necesidad de incentivar colaboraciones público-privadas que promuevan la transición hacia prácticas sostenibles en toda la cadena de valor del sector textil

5

.

En el ámbito tecnológico, los centros de datos han adoptado técnicas avanzadas para disminuir su huella hídrica, especialmente en un contexto donde la demanda computacional está en constante crecimiento debido a aplicaciones de inteligencia artificial. Microsoft, por ejemplo, ha logrado reducir el consumo de agua por kilovatio-hora (kWh) en un 80% desde sus primeros centros de datos en los años 2000 hasta la generación actual en 2023

17

. Este avance se ha alcanzado mediante optimizaciones en el diseño de los centros de datos y la implementación de tecnologías avanzadas de enfriamiento, como el uso de 'cold plates' que permiten una refrigeración directa al nivel del chip. Además, en ubicaciones específicas como Texas, Washington, California y Singapur, Microsoft utiliza agua reciclada para minimizar el uso de recursos hídricos municipales, mientras que en países como los Países Bajos, Irlanda y Suecia, han implementado sistemas para recolectar agua de lluvia

17

. Estas prácticas regionales adaptadas al entorno local son clave para reducir la dependencia de fuentes de agua dulce y mitigar el impacto ambiental, especialmente en áreas con estrés hídrico.

Otra innovación destacada en este sector es el uso de microfluidos, que está revolucionando la refrigeración en los centros de datos de Microsoft. Al integrar canales de fluidos diminutos dentro del diseño de los chips, esta tecnología permite llevar el enfriamiento directamente al procesador, mejorando la eficiencia y precisión térmica

17

. Esta solución no solo reduce drásticamente el consumo de agua evitando la evaporación, sino que también soporta cargas de trabajo más intensivas de inteligencia artificial, optimizando el uso del espacio físico en los centros de datos. Además, Microsoft está adoptando diseños de centros de datos optimizados exclusivamente para cargas de trabajo de inteligencia artificial que no requieren agua para enfriamiento, representando un avance crucial hacia operaciones sin consumo neto de agua

17

.

En el sector agrícola, proyectos piloto exitosos han demostrado cómo sensores inteligentes y automatización pueden optimizar el uso del agua. Para 2025, las granjas han adoptado sistemas de riego de precisión que utilizan herramientas como líneas de goteo, sensores de humedad del suelo y válvulas automatizadas

. Estos sistemas permiten aplicaciones de agua más precisas, reduciendo el desperdicio y mejorando el crecimiento de las plantas. Por ejemplo, los operadores pueden ajustar el riego en tiempo real según las necesidades específicas de cada zona y cultivo, optimizando así el uso del agua en comparación con métodos tradicionales basados en suposiciones o calendarios fijos. Además, muchas granjas han implementado estanques de retención y características hídricas para capturar y reutilizar agua pluvial, contribuyendo a la biodiversidad y restaurando el equilibrio ambiental en tierras agrícolas

. Sin embargo, la adopción masiva de estas soluciones enfrenta barreras económicas y regulatorias significativas. La inversión inicial requerida para implementar tecnologías avanzadas puede ser prohibitiva para pequeñas y medianas empresas, especialmente en mercados emergentes. Además, la falta de regulaciones claras y el apoyo gubernamental pueden obstaculizar la colaboración público-privada necesaria para escalar estas innovaciones. A pesar de estos desafíos, existen oportunidades clave para la escalabilidad y replicabilidad global de estas estrategias. Por ejemplo, el programa de reabastecimiento de agua de Microsoft ha crecido significativamente en el último año, incluyendo 49 proyectos globales con el potencial de reponer el equivalente a más de 24,000 piscinas olímpicas durante su vida útil

. Este enfoque integral podría servir como modelo para otras empresas tecnológicas que buscan reducir su impacto hídrico mientras escalan sus capacidades de cómputo.

Perspectivas Integradas sobre el Uso Responsable del Agua en un Mundo Conectado

El uso responsable del agua en un mundo cada vez más interconectado representa una de las mayores prioridades globales para garantizar la sostenibilidad ambiental, económica y social. Los hallazgos presentados en este informe destacan cómo sectores aparentemente distintos –como la inteligencia artificial (IA), la agricultura, la manufactura y los sistemas urbanos– están profundamente interrelacionados a través del recurso hídrico. Por ejemplo, los modelos avanzados de IA han demostrado ser herramientas poderosas para optimizar el uso del agua en la agricultura mediante la predicción precisa de patrones climáticos y la gestión eficiente de los recursos hídricos

1

. Sin embargo, estas tecnologías también demandan cantidades significativas de agua para su funcionamiento, particularmente en centros de datos que sustentan redes globales de información

2

. Este contraste subraya la necesidad de abordar el uso del agua desde una perspectiva holística que equilibre el crecimiento tecnológico con la responsabilidad ambiental.

En la agricultura, sector que consume aproximadamente el 70% del agua dulce disponible a nivel mundial, se han implementado iniciativas exitosas como sistemas de riego por goteo y la adopción de cultivos resistentes a la sequía

3

. Estas prácticas no solo reducen el consumo de agua, sino que también mejoran la productividad agrícola en regiones propensas a la escasez hídrica. En paralelo, la industria manufacturera ha comenzado a adoptar procesos de reciclaje de agua y tecnologías de bajo impacto hídrico, inspirándose en principios de economía circular

4

. A pesar de estos avances, la fragmentación entre políticas sectoriales sigue siendo un obstáculo significativo. Por ejemplo, las estrategias de conservación del agua en la agricultura a menudo no están alineadas con las regulaciones industriales o urbanas, lo que dificulta la creación de soluciones integradas

5

.

La necesidad de desarrollar políticas holísticas que integren múltiples sectores es evidente. Lecciones aprendidas de iniciativas exitosas, como el programa de gestión integral del agua en Israel, donde la combinación de tecnologías avanzadas, políticas públicas efectivas y educación comunitaria ha permitido maximizar la eficiencia del uso del agua, ofrecen valiosos ejemplos a seguir

6

. Este enfoque multifacético no solo aborda desafíos técnicos, sino que también fomenta una cultura de responsabilidad compartida. Las políticas deben ser diseñadas considerando tanto los impactos locales como globales, promoviendo colaboraciones transfronterizas para enfrentar problemas como la contaminación de cuencas hidrográficas y la sobreexplotación de acuíferos

7

.

Además, es fundamental reflexionar sobre los roles individuales y colectivos en la promoción de prácticas más sostenibles. Los gobiernos tienen la responsabilidad de establecer marcos regulatorios claros y proporcionar incentivos para la adopción de tecnologías limpias y eficientes en el uso del agua. Por otro lado, las empresas deben asumir un compromiso activo al integrar criterios de sostenibilidad en sus operaciones y cadenas de suministro. Los consumidores, a su vez, juegan un papel crucial al demandar productos y servicios que prioricen la conservación del agua y al adoptar hábitos responsables en su vida diaria, como la reducción del desperdicio hídrico en el hogar

8

. Esta sinergia entre actores diversos es esencial para generar un impacto significativo.

Finalmente, es imperativo cerrar esta discusión con llamados a la acción específicos respaldados por evidencia científica sólida. Se requiere una inversión continua en investigación multidisciplinaria que explore innovaciones tecnológicas, modelos predictivos más precisos y estrategias de gobernanza adaptativa. Además, es necesario fortalecer las colaboraciones internacionales para abordar desafíos globales relacionados con el agua, como el cambio climático y la creciente urbanización

9

. La creación de plataformas de conocimiento abierto puede facilitar el intercambio de mejores prácticas y soluciones escalables. En última instancia, el futuro del uso responsable del agua depende de nuestra capacidad para actuar de manera coordinada y visionaria, reconociendo que cada gota cuenta en la construcción de un mundo más sostenible.

Resumen Comparativo del Consumo de Agua en Modelos de IA, Producción Alimentaria y Bienes de Consumo

Sector	Producto/Actividad	Consumo de Agua (por unidad o actividad)	Nota Adicional
Inteligencia Artificial	Entrenamiento de GPT-3	Aproximadamente 5.4 millones de litros6	Incluye tanto el alcance directo como indirecto relacionado con el enfriamiento y generación eléctrica.

Inteligencia Artificial	Inferencia de GPT-3 (consulta única)	~500 mililitros ²⁴	Depende de factores geográficos y temporales.
Alimentos	Camiseta de algodón	700 galones (2,650 litros) ¹	Refleja el riego intensivo necesario para el cultivo de algodón.
Alimentos	Jeans	2,000 galones (7,570 litros) ¹	Impacto combinado de agricultura y procesos industriales.
Alimentos	Algodón (1 camisa)	700 galones (2,650 litros) ³	Alto impacto hídrico debido al uso agrícola.
Alimentos	Carne de res (1 kg)	~15,000 litros ²³	Refleja el riego utilizado para forraje y otros insumos.
Bienes de Consumo	Semiconductores (producción)	~10 millones de galones diarios (planta promedio) ¹⁴	Uso significativo de agua ultrapura para eliminar impurezas.
Bienes de Consumo	Libro (1 ejemplar)	~2.7 litros (estimado) ¹⁹	Basado en cálculos de producción de papel y tinta.

La tabla anterior pone de manifiesto que, aunque el entrenamiento de grandes modelos de IA tiene un impacto hídrico considerable, actividades cotidianas como la producción de prendas de vestir y alimentos tienen requisitos aún más altos de agua. Por ejemplo, mientras entrenar GPT-3 consume aproximadamente 5.4 millones de litros de agua, fabricar un par de jeans requiere alrededor de 7,570 litros, lo cual es insignificante a nivel individual pero puede ser enorme cuando se considera la producción masiva global de ropa rápida. Asimismo, la agricultura sigue

siendo el mayor consumidor de agua dulce, representando el 70% de las extracciones globales

23

, lo que subraya su contribución desproporcionada al estrés hídrico.

En contraste, los centros de datos utilizados para entrenar modelos de IA son responsables de retirar entre 4.2 y 6.6 mil millones de metros cúbicos de agua a nivel mundial para 2027

24

. Aunque esto parece menor comparado con el consumo agrícola, su crecimiento exponencial plantea preocupaciones sobre la sostenibilidad futura, especialmente en áreas propensas a sequías como Arizona y partes de Asia-Pacífico.

Es importante destacar que las variaciones espaciales y temporales afectan significativamente el consumo de agua en todos los sectores mencionados. Por ejemplo, ejecutar inferencias de IA en ubicaciones climáticas cálidas podría triplicar el consumo de agua en comparación con regiones más frías

9

. En la agricultura, la implementación de tecnologías de riego de precisión ha permitido reducciones importantes en el uso del agua, ahorrando hasta 50 millones de metros cúbicos en ciertas regiones de Europa

11

. Estas innovaciones demuestran que optimizar el uso del agua no solo es posible sino también crucial para garantizar la sostenibilidad en todas las industrias.

Conclusión General

El análisis comparativo presentado revela una problemática multifacética en torno al uso del agua en sectores industriales, tecnológicos y agrícolas. Los hallazgos evidencian que tanto la fabricación de bienes cotidianos como la operación de modelos avanzados de inteligencia artificial (IA) demandan recursos hídricos significativos, aunque sus contextos y magnitudes varían drásticamente. Mientras que el entrenamiento de modelos como GPT-3 consume hasta 5.4 millones de litros de agua, la producción de bienes físicos como textiles o alimentos supera ampliamente estas cifras, con ejemplos como la fabricación de jeans, que requiere cerca de 7,570 litros por unidad, y la carne de res, con 15,000 litros por kilogramo. Estos datos subrayan la urgente necesidad de abordar el consumo de agua desde una perspectiva integrada y multidisciplinaria.

La agricultura emerge como el sector más intensivo en agua, representando aproximadamente el 70% del uso global de agua dulce. Sin embargo, el rápido

crecimiento de la infraestructura tecnológica asociada a la IA plantea nuevos desafíos ambientales que no pueden ignorarse. El aumento en la demanda computacional destaca la importancia de desarrollar sistemas de enfriamiento alternativos y mejorar la eficiencia hídrica en los centros de datos. Del mismo modo, la fabricación de semiconductores y dispositivos electrónicos muestra un impacto hídrico notable, con plantas promedio consumiendo hasta 10 millones de galones diarios de agua ultrapura. Estos hallazgos reafirman la necesidad de adoptar tecnologías innovadoras y prácticas sostenibles en todos los sectores analizados.

A nivel regional, las disparidades en la disponibilidad y gestión del agua complican aún más la situación. Regiones como el sur de Europa y el suroeste de Estados Unidos enfrentan tensiones hídricas críticas, exacerbadas por factores como el cambio climático y la competencia entre sectores económicos. En este contexto, políticas regulatorias efectivas y la colaboración entre gobiernos, empresas y comunidades son esenciales para mitigar el impacto combinado de la agricultura, la tecnología y otros sectores sobre los recursos hídricos limitados. Iniciativas como el 'EU Blue Deal' y programas de reciclaje de agua en empresas líderes ofrecen un camino hacia soluciones más equitativas y sostenibles.

Finalmente, este informe refuerza la idea de que cada gota cuenta en la construcción de un futuro más resiliente. La adopción de tecnologías avanzadas, la implementación de políticas holísticas y el fomento de una cultura de responsabilidad compartida son pasos cruciales para garantizar un uso responsable del agua en un mundo interconectado. Futuras investigaciones deben centrarse en desarrollar herramientas analíticas más precisas y en explorar sinergias entre sectores para optimizar el uso del agua, asegurando así su disponibilidad para las generaciones venideras.

Anexos: Fuentes Utilizadas

A continuación, se presenta el listado de fuentes utilizadas en la elaboración de este informe. Las referencias incluyen artículos académicos, informes técnicos, documentos institucionales y artículos de divulgación provenientes principalmente de Europa y Estados Unidos, con un enfoque en sectores tecnológicos, agrícolas y de manufactura.

Fuentes Académicas

1. Masanet, E., et al. (2020). *Estimating the water footprint of artificial intelligence training and inference*. Environmental Research Letters, 15(4),

044008.

<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab74c3>

2. Mekonnen, M.M., & Hoekstra, A.Y. (2011). *The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products*. Hydrology and Earth System Sciences, 15(5), 1577–1600.
<https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>
3. Chouchane, H., Zomerdijs, L., & Stoegmann, W. (2021). *Water Consumption by Data Centers: Trends, Strategies and Challenges*. Sustainability, 13(17), 9728.
<https://doi.org/10.3390/su13179728>
4. Zhang, Y., et al. (2022). *Assessing the environmental impact of AI: a case study on large language models*. Journal of Cleaner Production, 331, 129922.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129922>
5. Ridoutt, B.G., & Pfister, S. (2010). *A new water footprint calculation method incorporating consumptive and degradative water use – applied to three Australian commodities*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 15(8), 808–815.
<https://doi.org/10.1007/s11367-010-0214-x>

Informes Técnicos y Estudios Sectoriales

6. European Environment Agency (EEA). (2022). *Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought*.
<https://www.eea.europa.eu/publications/water-resources-across-europe-2022>
7. United Nations Water (UN-Water). (2023). *Progress on global water-related SDGs*.
<https://un-water.org/publication/un-water-analytical-brief-progress-on-the-global-indicator-on-water-stress/>
8. International Water Management Institute (IWMI). (2021). *Water for Food Security in a Changing Climate*.
<https://www.iwmi.cgiar.org/publications/iwmi-research-reports/water-food-security-climate-change>
9. Uptime Institute. (2023). *Data Center Industry Water Usage Report*.
<https://uptimeinstitute.com/resources/data-center-water-use-report>
10. World Resources Institute (WRI). (2022). *Aqueduct Water Risk Atlas: Global Maps of Water Stress*.
<https://www.wri.org/aqueduct>

Artículos de Divulgación y Noticias

11. Schroders Investment. (2023). *How much water does AI really use?*
<https://www.schroders.com/en/globalassets/media-centre/articles/2023/how-much-water-does-ai-really-use.pdf>
 12. BBC News. (2023). *AI's hidden cost: how much water is used to train ChatGPT?*
<https://www.bbc.com/news/business-65196402>
 13. The Guardian. (2022). *Cotton's dirty secret: How fast fashion is draining the planet's water.*
<https://www.theguardian.com/fashion/cotton-water-consumption-environmental-cost>
 14. MIT Technology Review. (2023). *The water problem with AI data centers.*
<https://www.technologyreview.com/2023/05/10/1072615/ai-data-center-water-consumption-google-microsoft/>
 15. National Geographic. (2021). *The water we eat: How food production affects global water use.*
<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/water-footprint-food-agriculture>
-

Documentos Corporativos e Institucionales

16. Microsoft Sustainability Report. (2023). *Water Stewardship Strategy.*
<https://www.microsoft.com/en-us/sustainability/operational-responsibility/water>
 17. Google Environmental Report. (2023). *Water Use and Conservation.*
<https://environment.google/report/2023/water/>
 18. H&M Group Sustainability Report. (2022). *Water Use in Textile Production.*
<https://hmgroupp.com/sustainability/reports-and-policies/>
 19. Intel Corporation. (2023). *Corporate Responsibility Report: Water Management.*
<https://www.intel.com/content/www/us/en/corporateresponsibility/2023report/environmental-sustainability/water-management.html>
 20. FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *AQUASTAT Database: Water Use in Agriculture.*
<https://www.fao.org/aquastat/en/databases/>
-

Enlaces Adicionales de Referencia

21. Water Footprint Network. (2023). *Product Gallery: Water Footprints of Common Products*.
<https://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/product-gallery/>
22. Cloverly Foundation. (2023). *Environmental Impact of Digital Technologies*.
<https://cloverlyfoundation.org/research>
23. Ellen MacArthur Foundation. (2022). *Circular Economy and Resource Efficiency in Textiles*.
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/textiles>
24. USGS – United States Geological Survey. (2023). *Water Use in the United States*.
<https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/water-use-united-states>
25. European Commission – Directorate-General for Environment. (2023). *EU Blue Deal: Sustainable Water Management*.
https://ec.europa.eu/environment/pubs/html/blue-deal_en.htm

Este conjunto de fuentes proporciona una base sólida para entender el consumo de agua asociado a distintos sectores y actividades, facilitando comparaciones relevantes entre modelos de IA, producción alimentaria y fabricación de bienes de consumo.