

EL PAPEL DE LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES EN EL CONTEXTO DE LA CRISIS ECOLÓGICA ACTUAL

Marco Miozzo

Paolo Dini

*Investigadores de la Unidad de investigación en Inteligencia Artificial Sostenible
Centre Tecnologic de Telecomunicacions de Catalunya*

RESUMEN

El presente artículo se proyecta sobre la innovación tecnológica y su contribución a la mejora de muy diversos aspectos de nuestra sociedad, tanto a nivel de salud, trabajo, o movilidad, entre otros, analizándose igualmente algunas de las consecuencias negativas de los avances tecnológicos en cuanto a consumo de recursos naturales o aspectos medioambientales. Se aborda asimismo la necesidad de analizar las causas fundamentales de la crisis ecológica y el importante apoyo que a este respecto pueda aportar la Inteligencia Artificial en clave de sostenibilidad, enfatizándose la necesidad de una transición hacia el paradigma de la *Inteligencia Artificial Verde*, que propicia el logro de un mayor nivel de eficiencia en estos objetivos. Se propone igualmente la necesidad de adoptar principios de *circularidad* y *suficiencia* para mitigar los problemas en este ámbito y promover un acceso más equitativo a la tecnología.

1. EFECTOS DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA SOCIEDAD Y MEDIOAMBIENTE

Sin lugar a dudas, la innovación tecnológica ha contribuido significativamente a mejorar nuestro estilo y condiciones de vida en muchos aspectos: salud, movilidad, trabajo, entre otros. Desde una perspectiva sanitaria, la introducción de los antibióticos permitió aumentar la esperanza de vida promedio de 50-60 años a 80-90 años. En el ámbito laboral, la innovación en la generación, almacenamiento y transporte de electricidad nos proporcionó una fuente de energía económica y accesible en casi cualquier lugar, lo que a su vez permitió el desarrollo de muchas otras innovaciones: la bombilla eléctrica, el refrigerador, la transmisión por radio, la televisión y, finalmente, el internet y los teléfonos inteligentes.

Sin embargo, los avances tecnológicos no son gratuitos y conllevan múltiples consecuencias: el uso intensivo de recursos naturales, el aumento de las emisiones de CO₂ y el acceso desigual a la tecnología. El progreso tecnológico se aceleró a partir de la Revolución Industrial y continuó durante los siglos XIX y XX sin generar, en ese entonces, problemas ambientales catastróficos. No obstante, con el crecimiento poblacional de las últimas décadas, la búsqueda de un crecimiento económico continuo e infinito, la creciente demanda energética de las tecnologías desarrolladas y el uso masivo de combustibles fósiles para la generación de energía, las emisiones de CO₂ han aumentado exponencialmente, alcanzando niveles que ya no son sostenibles para nuestro planeta.

Esto se debe principalmente al *efecto rebote* (*rebound effect*): cuando un recurso se vuelve más accesible gracias a una mejora en su eficiencia, su uso tiende a incrementarse hasta superar la eficiencia inicial. Un ejemplo práctico lo encontramos en las baterías de los teléfonos móviles. Estas han mejorado

considerablemente su eficiencia en las últimas décadas (de los 1500 mAh de los primeros smartphones a los 3000 mAh actuales), pero ahora duran menos por carga, ya que tendemos a usarlos más y con aplicaciones que consumen más energía. De manera similar, comenzamos a utilizar masivamente los combustibles fósiles y productos derivados del petróleo en la segunda mitad del siglo XX debido a su abundancia y eficiencia en la extracción, pero en lugar de reducir su explotación, intensificamos su uso (por ejemplo, más automóviles y viajes largos, más aviones y vuelos, productos plásticos de un solo uso, etc.).

El efecto rebote energético global ha promediado un 102.4% en los últimos 50 años, lo que significa que hemos más que duplicado la cantidad de recursos utilizados, a pesar de las diversas invenciones introducidas.

Actualmente estamos viviendo una de las mayores innovaciones de los últimos siglos: la *revolución de los datos*. Este concepto reconoce que enfrentamos “un aumento exponencial en el volumen y los tipos de datos disponibles, creando posibilidades sin precedentes para informar y transformar la sociedad y proteger el medio ambiente” [1]. Esta revolución ha sido impulsada principalmente por la introducción de nuevas tecnologías, como las redes de comunicaciones ubicuas, sensores y procesadores con altas capacidades de cómputo. Estas novedades pueden agruparse dentro del ecosistema de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Sin embargo, al igual que con el petróleo, las TIC también pueden verse afectadas por el fenómeno del efecto rebote.

En este artículo, comenzamos analizando las capacidades de las TIC para resolver la crisis ecológica (*handprint*) y seguimos enumerando algunos aspectos importantes que deben considerarse para que las tecnologías realmente enfrenten el problema ecológico y no se conviertan en parte de él.

2. TIC PARA LA SOSTENIBILIDAD

La principal revolución que debemos afrontar en el contexto de la crisis ecológica es la comprensión de sus causas fundamentales, cómo evoluciona, y cómo reaccionar o adaptarse. Esta es una tarea realmente compleja, ya que involucra múltiples dimensiones. Los métodos estándar basados en leyes físicas son difíciles de aplicar, especialmente cuando se trata de investigar la correlación entre distintos procesos relacionados con la crisis para obtener una explicación más global y general (por ejemplo, cómo el derretimiento del hielo en el Polo Ártico afecta al clima en todo el planeta).

En muchos casos, conocemos bien la física detrás de cada proceso individual y sus efectos locales, pero es muy difícil combinar estos procesos para analizar sus interacciones y estimar sus consecuencias en escala mundial. Para superar esta dificultad, podemos recurrir al uso de datos y a la inteligencia artificial (IA). Hoy en día contamos con sistemas que generan enormes cantidades de datos para rastrear todos los detalles de las actividades humanas y del entorno, lo que se conoce como el Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT). Gracias a estos datos y a los avances en computación, la IA puede procesarlos para encontrar patrones y correlaciones entre distintos procesos a nivel global. De hecho, la IA ya se ha aplicado con éxito en muchos aspectos relacionados con la crisis ecológica [2].

- *En salud*, la IA se ha utilizado con éxito para reconocer características en imágenes, como radiografías para el diagnóstico de cáncer, y para predecir la estructura de proteínas (por ejemplo, el modelo AlphaFold).
- *En transporte*, la IA se ha empleado para controlar mejor la carga de tráfico en escenarios de ciudades inteligentes, evitar accidentes de tráfico y asistir al conductor durante la conducción.
- *En la industria*, la IA ya ha contribuido significativamente a mejorar la eficiencia de los sistemas de producción, y se puede avanzar aún más mediante la recolección de datos con nuevas soluciones IoT.
- *En los sistemas eléctricos*, la IA desempeña un papel importante en la predicción de la oferta y la demanda energética, lo que permite mejorar el uso de energías renovables.

- *En la edificación*, la IA puede ayudar a modelar el consumo energético dentro de los edificios y entre ellos para su optimización (por ejemplo, en calefacción, ventilación y aire acondicionado).
- *En la agricultura y los bosques*, la IA puede ayudar a evaluar las emisiones mediante imágenes satelitales, mejorar la producción y reducir el uso de recursos (como el agua).

Respecto al cambio climático, se han utilizado técnicas de IA para predecir cambios en la temperatura media global, anticipar fenómenos climáticos y oceánicos como El Niño, comprender mejores aspectos del sistema meteorológico (por ejemplo, las precipitaciones) y anticipar eventos climáticos extremos que se han vuelto más frecuentes como resultado del cambio climático global (por ejemplo, daños por lluvias intensas o incendios forestales). En particular, se ha demostrado que la IA puede mejorar la estimación de la trayectoria de eventos catastróficos como los huracanes. Además, la IA puede utilizarse para monitorizar cómo evoluciona el cambio climático, prediciendo las emisiones de carbono en función de las tendencias actuales.

Por supuesto, estas soluciones pueden presentar sesgos, ya que han sido entrenadas con datos que no reflejan completamente los efectos actuales de la crisis climática (por ejemplo, en el caso de huracanes en el área del Mediterráneo, los datos históricos no incluyen estos fenómenos, ya que han comenzado a ocurrir recientemente como consecuencia de la crisis).

Para crear sinergias y redes entre todas las personas involucradas en este tema, la comunidad *Climate Change AI* (<https://www.climatechange.ai/>) ofrece apoyo y conexiones entre investigadores de todo el mundo que trabajan en esta importante tarea. De este modo, la IA también puede contribuir a democratizar la investigación sobre la crisis climática mediante el intercambio de conocimientos y modelos. No obstante, aún debemos considerar la brecha digital, ya que no todos los investigadores tienen acceso a las infraestructuras de cómputo de alto rendimiento que requiere la IA.

3. SOSTENIBILIDAD DE LAS TIC

Como hemos visto anteriormente, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) pueden jugar, y lo harán aún más, un papel fundamental en la lucha contra la crisis ecológica. Sin embargo, esas tecnologías también forman parte del problema: recientemente se ha estimado que su contribución a las emisiones globales oscila entre el 2.1% y el 3.9% [3]. Además, las TIC son uno de los sectores con mayor crecimiento en términos de emisiones de CO₂, alcanzando ya el 6% en la actualidad y, si se mantiene la tendencia actual, se estima que podrían llegar hasta el 15% para el año 2030. El efecto rebote de las TIC es muy complejo de estimar; según ocho estudios diferentes, se sitúa entre el 115% y el 161% [3].

A esto se suma que los nuevos servicios basados en IA están cada vez más presentes en nuestra vida diaria, con modelos que aumentan drásticamente en complejidad. Un ejemplo reciente es el servicio ChatGPT, cuyo consumo mensual de electricidad se estima en millones de kWh: “ChatGPT podría haber consumido tanta electricidad como 175,000 personas en enero de 2023” [4]. De manera similar, Meta utilizó 2.6 millones de kWh y emitió 1,000 toneladas de CO₂ al desarrollar sus nuevos modelos LLaMA [5], que son más pequeños en comparación con GPT-3 (el modelo usado por el servicio de ChatGPT). Se estima que esta energía generó unas 1,015 toneladas de CO₂ equivalente, lo que equivale aproximadamente a la huella de carbono anual de 150 ciudadanos de la Unión Europea, donde la huella total de carbono por persona fue de 6.8 toneladas en 2019 [6].

Desafortunadamente, no se trata solo del consumo eléctrico: estas soluciones también son muy costosas en términos de agua. Se estima que el uso de ChatGPT podría haber utilizado 255 millones de litros de agua dulce en un solo mes (para la refrigeración de las máquinas). En particular, el proceso de entrenamiento de GPT-3 en los centros de datos de última generación de Microsoft en EE. UU. puede consumir directamente 700,000 litros de agua limpia, suficiente para fabricar 370 automóviles [7].

Además, los residuos electrónicos (*e-waste*) se consideran el flujo de desechos de más rápido crecimiento a nivel mundial, con 44.7 millones de toneladas generadas en 2016, equivalente a 4,500 Torres Eiffel. Se proyecta que el volumen global de residuos electrónicos aumentará a 74.7 millones de toneladas para 2030, duplicándose en los últimos 16 años [8]. Este incremento está impulsado por el número de dispositivos fabricados, que pasará de 29 mil millones en 2023 a 48 mil millones en 2030, utilizados para digitalizar nuestras actividades, es decir, los servicios de Internet de las Cosas (*IoT*).

Finalmente, considerando el “tsunami de datos” que se espera en los próximos años debido a la proliferación de dispositivos conectados y el tráfico móvil, las tecnologías digitales deberán ser completamente re-diseñadas para ser verdaderamente sostenibles [9].

4. HACIA UNA IA VERDE Y UN DISEÑO DIGITAL SOSTENIBLE

Para abordar este problema, se ha propuesto recientemente una transición hacia un paradigma más sostenible en el desarrollo y uso de la IA: la *IA Verde (Green AI)*. El objetivo de la IA Verde es incluir la eficiencia como uno de los criterios de optimización de los modelos de IA, en lugar de centrarse únicamente en la precisión, que a menudo se logra mediante enfoques de *fuerza bruta*.

Sin embargo, el *hardware* también importa. Para reducir los residuos electrónicos y la energía utilizada en la fabricación de dispositivos —que representa hasta el 50% de las emisiones totales [3]— es necesario pasar de un enfoque lineal y abundante de las tecnologías digitales a uno *circular y suficiente*. Por tanto, las nuevas tecnologías deben construirse en torno a diseños regenerativos y fomentar innovaciones sistémicas que promuevan la circularidad y la suficiencia.

Por un lado, la *circularidad* ayudará a reducir la extracción de recursos naturales mediante la reutilización de los que ya tenemos. Esto no es una tarea sencilla, especialmente con las tecnologías actuales que no están diseñadas para recuperar los minerales utilizados, sino que están pensadas para ser desechables. Por ello, es necesario cambiar completamente el paradigma de diseño para facilitar la recuperación de recursos naturales.

Por otro lado, el concepto de *suficiencia digital* debe convertirse en parte esencial de la transformación ambiental del ecosistema digital [10]. Esta suficiencia digital se puede dividir en cuatro ramas principales:

- *Suficiencia de hardware*: necesitamos producir menos dispositivos y con menor demanda energética absoluta, utilizando principios de diseño circular para evitar la generación de residuos electrónicos.
- *Suficiencia de software*: debemos garantizar que el tráfico de datos y el uso del *hardware* durante la ejecución de aplicaciones se mantenga bajo, para reducir la necesidad de centros de datos intensivos en energía.
- *Suficiencia del usuario*: debemos hacer un uso personal más frugal de los dispositivos y servicios digitales, siendo conscientes de su huella de carbono.
- *Suficiencia económica*: la nueva era de digitalización debe apoyar una transición hacia una economía cuyo objetivo principal sea la producción y el consumo suficientes, de acuerdo con los recursos del planeta, abandonando el crecimiento económico como función de la producción.

5. CONCLUSIÓN

No existe una innovación tecnológica “mágica” que pueda crear beneficio a la sociedad y resolver por sí sola la crisis ecológica. Sin embargo, existen muchas tecnologías que pueden contribuir a mitigar la crisis climática, siempre que se utilicen con cuidado y con consciencia, adoptando principios de *circularidad y suficiencia* para evitar agravar aún más el problema y promover un acceso más equitativo a la tecnología.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://www.undatarevolution.org/data-revolution/>
- [2] David Rolnick, Priya L. Donti, Lynn H. Kaack, Kelly Kochanski, Alexandre Lacoste, Kris Sankaran, Andrew Slavin Ross, Nikola Milojevic-Dupont, Natasha Jaques, Anna Waldman-Brown, Alexandra Sasha Luccioni, Tegan Maharaj, Evan D. Sherwin, S. Karthik Mukkavilli, Konrad P. Kording, Carla P. Gomes, Andrew Y. Ng, Demis Hassabis, John C. Platt, Felix Creutzig, Jennifer Chayes, and Yoshua Bengio. 2022. Tackling Climate Change with Machine Learning. *ACM Comput. Surv.* 55, 2, Article 42 (February 2023), 96 pages. <https://doi.org/10.1145/3485128>.
- [3] C. Freitag, M. Berners-Lee, K. Widdicks, B. Knowles, G. S. Blair, A. Friday, “The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations”, *Patterns*, Volume 2, Issue 9, 2021, 100340, ISSN 2666-3899, <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>.
- [4] ChatGPT’s Electricity Consumption, Kasper Groes Albin Ludvigsen, *Toward Data Science*, <https://towardsdatascience.com/chatgpts-electricity-consumption-7873483feac4>
- [5] H. Touvron et al “LLaMA: Open and Efficient Foundation Language Models”, 2023, ArXiv, [abs/2302.13971](https://arxiv.org/abs/2302.13971).
- [6] Facebook disclose the carbon footprint of their new LLaMA models, Kasper Groes Albin Ludvigsen, *Medium*, <https://kaspergroesludvigsen.medium.com/facebook-disclose-the-carbon-footprint-of-their-new-llama-models-9629a3c5c28b>
- [7] Li, P., Yang, J., Islam, M.A., & Ren, S. (2023). Making AI Less "Thirsty": Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models. ArXiv, [abs/2304.03271](https://arxiv.org/abs/2304.03271).
- [8] TheRoundUp.org, Latest Global E-Waste Statistics and What They Tell Us, accessed October 2023.
- [9] “Redirecting Technologies for the Deep Sustainability Transformation”, <https://digitalization-for-sustainability.com/digital-reset/>
- [10] Santarius, T., Bieser, J.C.T., Frick, V. et al. Digital sufficiency: conceptual considerations for ICTs on a finite planet. *Ann. Telecommun.* 78, 277–295 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12243-022-00914-x>