

Año 12, número 22, marzo - agosto 2022

La nube contaminante. Un análisis socioambiental de la huella de carbono digital

The Polluting Cloud. A Socio-environmental analysis of the Digital Carbon Footprint

Domingo Rafael Castañeda Olvera*

<http://orcid.org/0000-0002-3930-1674>

Universidad Tecnológica Fidel Velázquez, México

[Recibido 25/11/2021. Aceptado para su publicación 14/2/2022]

DOI: <http://dx.doi.org/10.32870/Pk.a12n22.730>

Resumen

La noción de huella de carbono digital se refiere a la cantidad de dióxido de carbono liberada a la atmósfera como resultado de la actividad de un individuo, organización o comunidad, derivado del uso de las tecnologías de la información y la comunicación. El objetivo central de este trabajo es aportar elementos al debate sobre el alto impacto ambiental de la actividad digital global, y poner el foco de atención en el contexto actual caracterizado por un uso cada vez más intensivo tanto de los dispositivos electrónicos interconectados como de los recursos digitales que requiere el almacenamiento de la información en la nube virtual. Concluimos que el incremento de la huella de carbono digital tiene un alto impacto socioambiental, ya que nos aleja de la carbononeutralidad señalada por la Agenda 2030 y solo será mitigado en tanto se entrelace con nuevos modelos de gestión energética (energías renovables) que optimicen tanto la infraestructura (*data centers*), el uso mismo del internet, como el almacenamiento de la información en la nube.

Palabras clave

Huella de carbono digital; huella ecológica; energías renovables; digitalización; tecnologías de la información y la comunicación.

Abstract

The notion of Digital Carbon Footprint refers to the amount of Carbon Dioxide released into the atmosphere as a result of an individual's activity, organization or community derived from the use of Information and Communication Technologies. The main objective of this research is to contribute elements to the debate on the high environmental impact of the global digital activity, emphasizing the current context characterized by an increasingly intensive use of interconnected electronic devices as well as digital resources that cloud storage requires. We conclude that the increase in the Digital Carbon Footprint has a high socio-environmental impact, a fact that takes us away from the carbon neutrality indicated by the 2030 Agenda and will only be mitigated as long as it intertwined with new energy management model (renewable energy) that optimize both the infrastructure (date centers) such as the very use of the Internet, as well as the cloud information storage.

Keywords

Digital Carbon Footprint; Ecological Footprint; Renewable Energies; Digitalization; Information and Communication Technologies.

Introducción

La noción de huella de carbono digital (HCD) se ha propuesto como una medida para describir y analizar el impacto medioambiental de uno de los fenómenos que caracteriza a las sociedades modernas: la digitalización. Con el arribo de la 4^a revolución industrial,¹ un porcentaje importante de la humanidad comenzó a hacer un uso intensivo de los dispositivos electrónicos interconectados, de los servicios que ofrecen el manejo de información a través de la red, así como su almacenamiento en la nube virtual (*the cloud*).²

Para enero de 2021 alrededor del mundo sumaban ya 4 600 millones de usuarios de internet activos (59.5% de la población mundial). De ese total, 92.6% (es decir, 4 320 millones) accesó a internet por medio de dispositivos móviles, esencialmente teléfonos inteligentes (*smartphones*) (Statista, 2021).

¹ Más que un arribo de nuevas tecnologías, la 4^a revolución industrial, o revolución 4.0, está marcada por el tránsito hacia nuevos sistemas ciberfísicos, donde el *software*, la tecnología digital en las comunicaciones, la nanotecnología y el internet de las cosas jugarán un papel fundamental, ya que se montarán sobre su antecesora, la 3^a revolución industrial, aquella que lo digitalizó todo (Schwab, 2016).

² La nube (*the cloud computing*) es el nombre metafórico que se la ha dado al espacio que describe la red mundial de servidores. No es un espacio físico en sí mismo, sino una red de servidores remotos interconectados, cuya función es almacenar y administrar datos, ejecutar aplicaciones y entregar contenidos o servicio en red (*streaming* de videos, redes sociales, correo electrónico, *software*, etcétera) (Rajaraman, 2014).

Este proceso de digitalización masiva desencadenó dos fenómenos: primero, una necesidad creciente de dispositivos electrónicos en el mercado global, cada vez más veloces, con mayor capacidad de almacenamiento de información, más eficaces, con mejor diseño, etcétera;³ segundo, se requirieron nuevos modelos de gestión de la información para su manejo y almacenamiento.

Estos nuevos modelos demandaron la construcción de mayor infraestructura que albergara a las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Se construyeron sistemas complejos y sofisticados, altamente tecnificados y climatizados, con altos requerimientos de refrigeración y con múltiples equipamientos de seguridad contra incendios. Espacios que exigieron kilómetros de cableado para su interconexión (en ocasiones, de manera transcontinental), lo que implicó un importante consumo energético y un impacto ecosistémico, de forma tal que algunos de estos centros de datos (*data centers*) consumen, por ejemplo, la misma cantidad de energía eléctrica que algunas ciudades intermedias (IEA, 2017).

Pese a haber una demanda creciente de dispositivos electrónicos y una mayor presencia en casi todos los ámbitos de la vida humana, el objetivo de esta investigación no se centrará en la huella ecológica que representa este incremento de dispositivos; nos enfocaremos en analizar la HCD que supone la interconectividad y el manejo/almacenamiento de la información en la red y su almacenamiento en la nube digital.

Es importante hacer notar que si bien la noción de HCD está en la etapa de conformación y se debate aun qué indicadores deben considerarse metodológicamente, partimos del análisis de este segundo elemento, la interconectividad y el manejo/almacenamiento de la información, dejando fuera otros elementos para futuros estudios.

Para ello, esta investigación iniciará con la delimitación conceptual del término central para, en un segundo apartado, aportar elementos que coadyuven en la comprensión, el estudio y el debate sobre los efectos de la HCD en el contexto actual. Por último, se proponen algunas conclusiones.

Buscamos, así, integrarnos al debate sobre la serie de impactos antropogénicos al medio ambiente que se presentan en las sociedades modernas y que están poniendo en entredicho la vida misma sobre el planeta, sumándonos a

³ Este fenómeno explosivo de la industria electrónica es importante para los fines de nuestra investigación, debido al incremento importante de la HCD a nivel global, no solo como resultado de su fabricación y distribución, sino también de la gestión de su última etapa, la de generación de residuos, ya que se calcula que solo 20% del material con el que están hechos la mayoría de estos dispositivos es reciclado o reutilizado, porque su producción se basa en la lógica de la obsolescencia programada, lo que supone un carga residual global muy importante (Osibanjo y Nnorom, 2007).

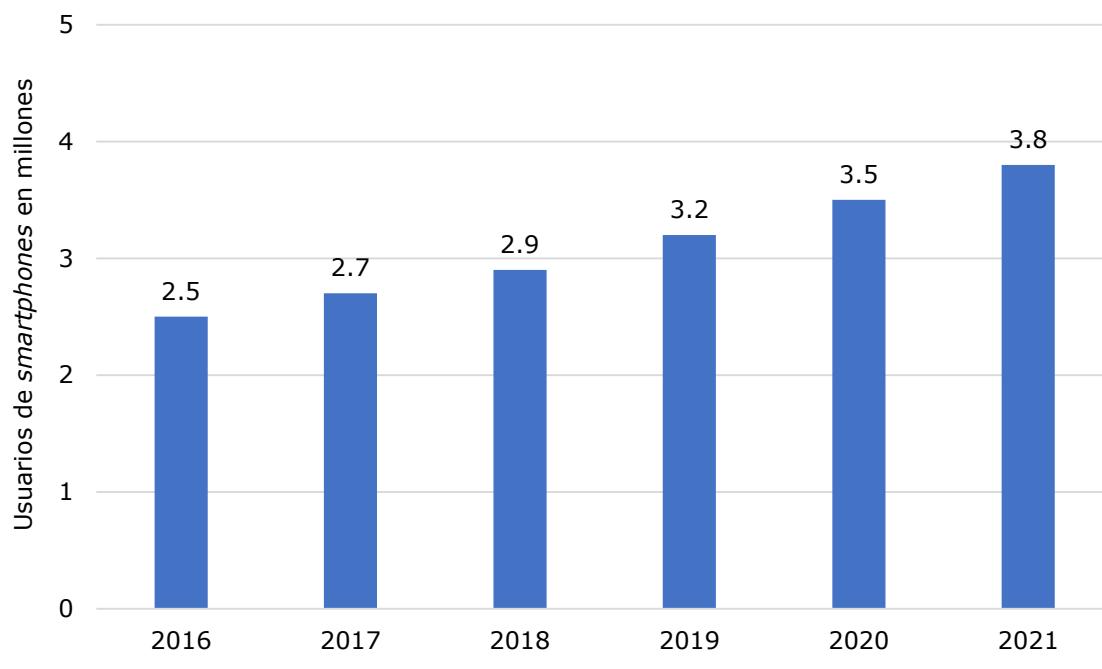
los análisis sobre la viabilidad de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 y su apuesta por la carbononeutralidad referidos a la HCD.

Huella de carbono digital

La HCD es la cantidad de CO₂ liberado a la atmósfera como resultado de las actividades de un individuo, organización o comunidad; en particular referido a aquellas vinculadas con el uso de las TIC (Páez y Velásquez, 2020).

Desde que internet fue creado hace ya más de 50 años, el uso de las TIC ha crecido exponencialmente, al punto de convertirse en un elemento fundamental en las sociedades contemporáneas. Sería imposible pensar al ser humano moderno sin la presencia del internet, ya que se encuentra presente en una gran cantidad de esferas (desde la educativa, la financiera y la militar hasta las telecomunicaciones, el deporte, el ocio y la diversión). Este fenómeno, como ya se mencionó, trajo aparejada una exigencia por un mayor número de dispositivos (gráfica 1), hecho que se evidenció y multiplicó en un escenario como el que planteó la pandemia derivada del virus SARS-CoV-2.

Gráfica 1. Número de usuarios de *smartphones* a nivel mundial, 2016-2021



Fuente: elaboración propia con datos de Statista (2020).

La interconectividad y el manejo de información a través de internet requiere de equipos funcionando las 24 horas del día, los siete días de la semana: los *data*

centers (centros de procesamiento de datos). Con el estudio de la huella ecológica de estos servidores iniciaremos el análisis de la HCD.

Impactos socioambientales de la HCD

En este segundo apartado analizaremos la HCD enfocándonos en dos elementos: los *data centers* y el manejo/almacenamiento de información en la nube, bajo una mirada socioambiental.

Huella de carbono de los cerebros y las venas digitales: los data centers

Los *data centers* pueden ser considerados los cerebros del internet. Su rol es fundamental para el intensivo flujo de datos e información en diversos ámbitos de las sociedades contemporáneas. Son espacios que albergan sistemas informáticos que procesan, distribuyen y almacenan datos con equipo en red, enrutadores, conmutadores y sistemas de almacenaje, además de disponer de complejos sistemas de refrigeración, ventilación y suministro de energía de respaldo, seguridad y protección contra incendios (Masanet *et al.*, 2020).

Estos servidores proporcionan cálculos y lógica en las respuestas a las múltiples y cada vez más complejas solicitudes de información a escala global, segundo a segundo.⁴ Esto obliga a que las unidades de almacenamiento estén diseñadas para albergar los miles de millones de archivos y datos que dichas solicitudes requieren, lo que significa que los dispositivos de red estén constantemente conectados y requiriendo los servicios de estos centros de datos.

Sin embargo, pese a que este intenso y complejo flujo informativo está ya globalizado, actualmente no existen oficinas gubernamentales que compilen estadísticas precisas sobre el uso de energía de estos complejos, ya sea a escala nacional o global, por lo que se debe hacer uso de modelos matemáticos sofisticados para estimar su gasto energético y, por ende, su huella ecológica.

Uno de estos modelos, denominado *bottom-up*, tiene en cuenta la capacidad instalada de dispositivos de las TIC en diferentes servidores y sus características respecto al gasto energético, con lo cual se llega a un estimado del uso total de energía (Koomey, 2011).

Con base en estos estudios, se ha llegado a estimar que estos centros de datos representaron 0.8% del uso global de electricidad en los últimos diez años

⁴ Cada minuto, cerca de 695 000 historias se comparten en Instagram a nivel global, se suben 500 horas de contenido a YouTube y se contabilizan casi 70 millones de mensajes enviados por WhatsApp. Véase es.statista.com/grafico/17539/datos-creados-online-en-un-minuto/

(GSMA, 2020), aunque algunos estudios han estimado un gasto mayor que oscila entre 1.1% y 1.5% (Belkhir y Elmeliqi, 2018); se proyecta que, de seguir las tendencias, pronto exigirán hasta 7% de la demanda global energética (Cook *et al.*, 2017).

Los centros de procesamiento de datos usan un estimado de 400 terawatts por hora (TWh) anualmente. Este consumo anual energético supera al de muchos países alrededor del mundo (Masanet *et al.*, 2020), lo que contribuye con 0.3% de las emisiones totales globales de CO₂ que, al sumarse a 2% de las emisiones de CO₂ de las TIC a nivel mundial, colocan a esta esfera como una de las más contaminantes a escala global.⁵

Un punto de análisis fundamental es la ubicación de los *data centers*, ya que ello denota su función geoestratégica. La región Asia Pacífico es la que alberga más de estos espacios (95), seguidos por las instaladas en Estados Unidos y Canadá (79). Entre ambas regiones suman 72%. Europa, por su parte, alberga 24% y Latinoamérica solo 4%. Estados Unidos y China, desde luego, ocupan el primero y segundo lugar en términos de zonas de disponibilidad con 69 y 31 centros, respectivamente (Christian, 2018) (mapa 1).

Mapa 1. Ubicaciones de los *data centers* a nivel global



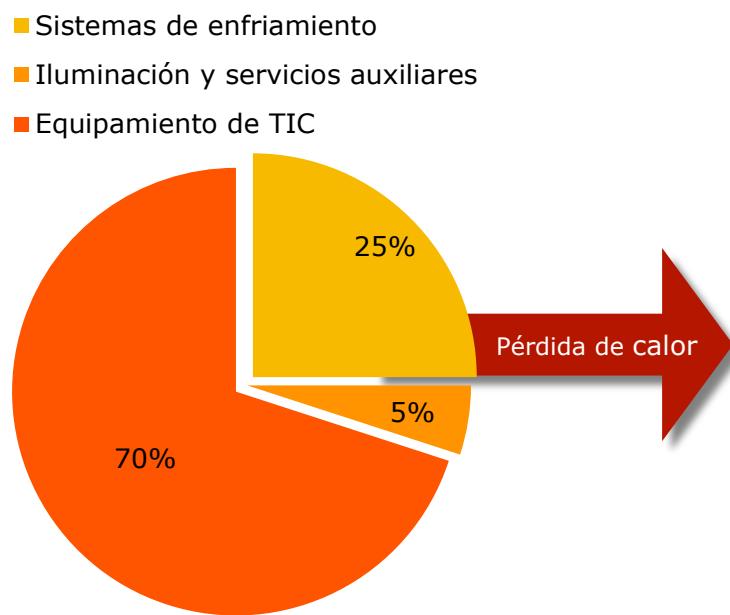
Fuente: Christian, 2018.

⁵ Véase <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>

Como hemos señalado, el funcionamiento de estos sofisticados centros de datos implica enormes emisiones de CO₂ relacionados principalmente con el consumo de electricidad requerida para su funcionamiento (Shehabi *et al.*, 2016). Desde la perspectiva de la huella ecológica, la necesidad de energía y de refrigeración no es un problema en sí misma, sino que la mayoría de estos sistemas de enfriamiento son ineficientes y utilizan cantidades innecesarias de electricidad.⁶

Los centros de procesamiento de datos requieren grandes cantidades de energía, la cual se disipa en forma de calor en áreas relativamente pequeñas debido a que los equipos son sensibles a las altas temperaturas.⁷ Este calor debe eliminarse continuamente (gráfica 2), hecho que incrementa los requerimientos de enfriamiento, lo que representa gran parte del consumo del total de energía de estos centros.

Gráfica 2. Pérdida de calor en los centros de procesamiento de datos



Fuente: elaboración propia con base en Marius (2021).

⁶ Véase <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>

⁷ Este hecho conecta directamente el consumo energético de los *data centers* con la huella hídrica, ya que el enfriamiento requiere también del vital líquido, lo que conduciría a la necesidad de integrar en estos espacios físicos métodos de tratamiento de agua, para lo cual hay poca información. Uno de estos estudios (Bakar, Shehabi y Marston, 2021) analiza la huella de carbono de los *data centers* sumada a la huella hídrica.

Sin embargo, la estimación de las emisiones totales de CO₂ es pobre debido a la falta de datos sobre la ubicación precisa de una gran cantidad de estos centros, así como la intensidad de sus emisiones. Son solo un pequeño número de empresas digitales (Google, Apple, Facebook, entre otras) informan públicamente sobre esta ubicación, lo que también ha dado luz sobre el uso que hacen de fuentes de energías renovables para sus operaciones (Cook *et al.*, 2017).

Debido a que la mayoría de la energía eléctrica requerida por el sector de las TIC aún se produce bajo modelos de combustión fósil, se asume que el uso de este esquema de tecnología digitalizada emite grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera. Si consideramos que a nivel mundial la capacidad total de generación eléctrica vía energías renovables alcanzó solo los 2 351 GW, significa que solo un quinto de la energía requerida a nivel mundial se generó bajo un esquema de energías alternativas (IPCC, 2021), lo que dificulta pensar que la escalada de exigencia energética de este sector haya sido acompañada de su generación vía energías no fosilizadas.

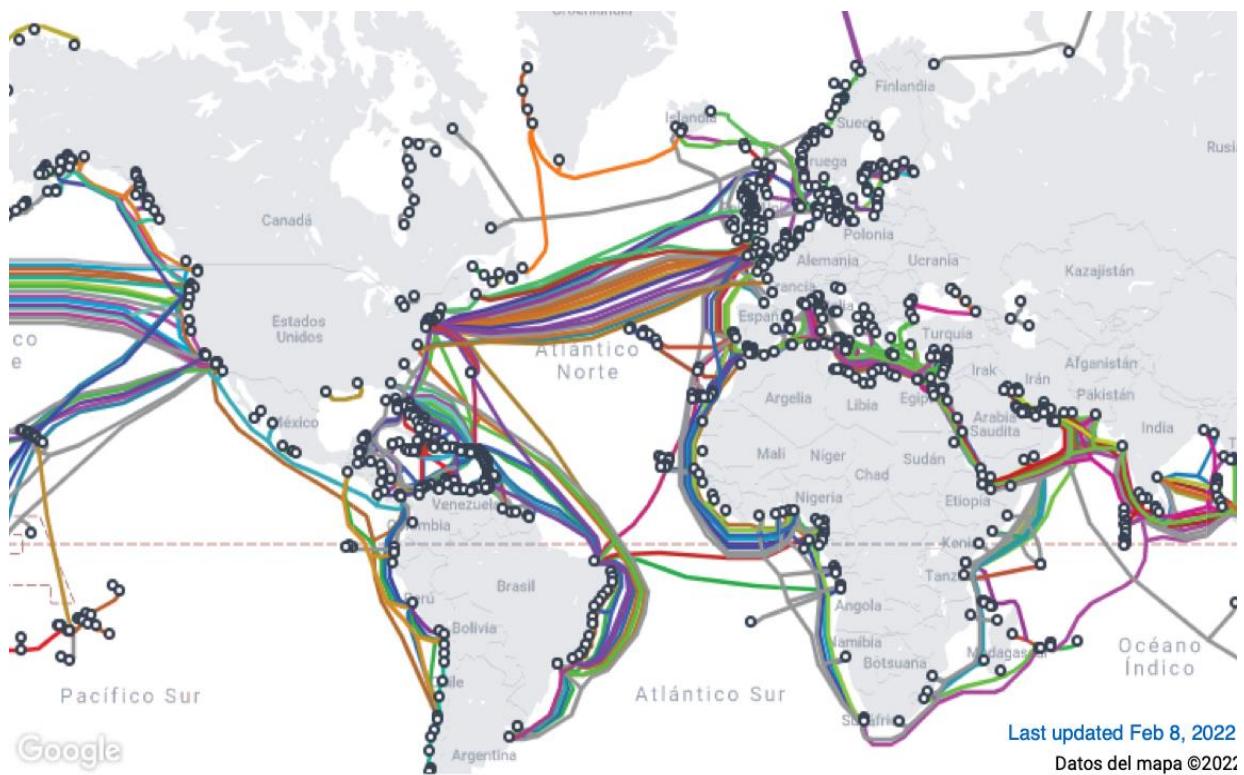
Entre 2010 y 2020 el tráfico IP global (es decir, la cantidad de datos que atravesó internet en determinado lapso) aumentó más de diez veces, mientras que la exigencia de almacenamiento en los centros de datos a nivel global aumentó 25%, multiplicando la cantidad de *instancias informáticas* ejecutadas por los servidores (medida para gestionar las aplicaciones utilizadas en celulares) por más de seis (Masanet *et al.*, 2020). Esto se explica debido a que el promedio de uso global de internet es de casi siete horas diarias.⁸

Si a esto escenario sumamos que la nueva revolución tecnológica incluye la llegada del internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) donde toda una serie de dispositivos y aparatos de uso cotidiano (desde alarmas, focos y reguladores climáticos hasta televisiones, electrodomésticos, regaderas y equipos de seguridad) se sumarán a los dispositivos electrónicos conectados a la red, la demanda energética de las casas habitación se incrementará exponencialmente a escala global.

Aunado a esto, debemos considerar el análisis de un nicho de contaminación importante: el requerimiento de cables necesarios para la interconectividad no satelital (“las venas de la digitalización”), la cual sigue siendo, por mucho, la que mayor flujo de información maneja: 99% del tráfico de información se da a través de esta infraestructura de cableado interoceánico, y solo 10% se da a través de vía satelital (mapa 2).

⁸ Véase es.statista.com/grafico/17539/datos-creados-online-en-un-minuto/

Mapa 2. Mapa del cableado submarino global



Fuente: Global Bandwidth Research Service (2021).

El 75% de la información que transporta esta infraestructura de cableado submarino es de datos, mientras que solo 4% es de mensajería de voz; esta infraestructura es la que permite que un correo electrónico viaje 6 000 kilómetros por debajo del mar en 60 milésimas de segundo. Y pese a que la existencia de estos cables se remonta a 30 años y en algunas regiones hasta 40 años, los estudios alrededor de sus impactos ambientales son escasos; hay algunos análisis sobre sus efectos en la pérdida de hábitat, en el ruido, en la contaminación química que ocasionan, sus emisiones de calor y en la de los efectos de los campos electromagnéticos que generan (Taormina *et al.*, 2018).

Asimismo, se ha estudiado ya el riesgo por enredos, introducción de sustratos artificiales y la creación de efectos de reserva,⁹ aunque existen enormes vacíos al respecto del impacto de esta infraestructura en los biomas marinos. Lo cierto es que, al introducir elementos ajenos en este entorno natural, se producen cambios físicos y biológicos, se genera contaminación química y por sedimentos en suspensión, así como efectos electromagnéticos y ruido ultramarino.

⁹ Véase <https://www.centralvozip.com/europaamerica-latina-proyecto-de-cable-submarino-ilustrado-con-diagrama-y-mapas-interactivos/#more-612>

La escasez de estudios alrededor de este fenómeno obliga a la necesidad de hacer más investigaciones que arrojen conocimientos sobre los diferentes umbrales de sensibilidad que permitan analizar los múltiples impactos en las especies y en los ecosistemas, así como sus efectos sinérgicos, ya que se han evaluado solo algunos y poco se ha logrado documentar alrededor de la generación de redes de impactos (*network impacts*), lo que hace pensar en la necesidad de considerar más de un factor de actividad o perturbación sinérgica (Taormina *et al.*, 2018).

Esta serie de efectos se puede sumar a los ya conocidos como la plastificación oceánica, la contaminación química, la eutrofización e invasión antropogénica, especialmente en áreas cerradas y poco profundas, sobre todo con fines de pesca comercial y deportiva, así como el turismo masivo e insostenible (Wheeling, 2017). De ahí que los efectos debido a interacciones entre diferentes tipos de perturbaciones sigan siendo altamente especulativos, porque en esencia el impacto ambiental del cableado es todavía poco conocido.

Consideramos que la reflexión y el debate sobre la HCD deben guiar mesas de análisis alrededor de la problemática ambiental en el corto plazo. Los nuevos escenarios generados por la pandemia, con la llegada de dinámicas de interconexión como el *homeoffice* y el *homeschooling*, multiplicarán la HCD, sumada a la tendencia generalizada que el IoT trae consigo.

Huella de carbono de la red: la nube que contamina

Analizar la HCD implica, además de estudiar a los *data centers*, investigar el rol que el internet juega en las sociedades contemporáneas. La digitalización es parte del vivir civilizatorio actual, al grado que la dependencia de este esquema digital se ve reflejada en casi todos los aspectos de la vida del ser humano, colocándose como el centro neurálgico de los individuos modernos.

El complejo sistema moderno montado sobre el internet sostiene nuestras actividades financieras, de transporte y telecomunicaciones, educativas, laborales, etcétera, de forma tal que parece el sistema nervioso central de la vida global de hoy.

La huella ecológica del requerimiento energético de este sistema ha crecido de manera exponencial en los últimos años debido al modelo fósil en el cual se sostiene, y se prevé un incremento mayor en el futuro inmediato. Sumemos a este fenómeno, por supuesto, las exigencias de interconectividad y digitalización derivadas de la pandemia global por el virus SARS-CoV-2.

Globalmente, la demanda energética de los dispositivos conectados a internet, así como la enorme cantidad de datos utilizados para la transmisión de

videos de alta resolución, los correos electrónicos, los sistemas de vigilancia y la nueva generación de dispositivos conectados a la red, ha incrementado 20% de manera anual, lo que consume aproximadamente 5% de la electricidad mundial (Andrae y Edler, 2013), aunque algunos más aseguran que el porcentaje es cercano a 7% (Andrae y Corcoran, 2015).

Esto supuso, por tanto, una emisión superior a la producida por el sector de la aviación y una cuarta parte del sector transporte a nivel mundial.¹⁰ Las tendencias, sin embargo, señalan que el uso de *gadgets*, aplicaciones, internet y los sistemas que les soportan se duplicará para 2025.¹¹

Uno de los grandes consumidores de energía es la transmisión de videos. En 2020, el tráfico de transmisión de videos alcanzó 80% del tráfico total generado por el consumidor de datos en la red (Carbon Trust, 2021), aunque algunas agencias reportan hasta 87% (IEA, 2017). Eso significó, en números reales, que cada segundo corría el contenido de un millón de minutos de contenido a través de la red, hecho que se incrementó con la oferta de servicios de transmisión de videos en tiempo real de Facebook y Twitter (Cook *et al.*, 2017). Estas emisiones se observan también por correo almacenado, enviado, enviado con datos adjunto e incluso por los ordenamientos en los buscadores comerciales (tabla 1).

Tabla 1. Emisiones de CO₂ por actividades en internet

Actividad en red	Dióxido de carbono emitido (CO ₂ /anual)
Visualización de video en YouTube	1 gramo
Correo almacenado	10 gramos
Correo enviado	4 gramos
Correo enviado con datos adjuntos	50 gramos
Búsqueda en Google	0,2 gramos
Web Browser	1.76 gramos (por página consultada)

Fuente: elaboración propia con base en Ozcan y Apergis (2018) y *ClimateCare*, 2021.

¹⁰ Para mayor detalle, véase <https://www.iea.org/data-and-statistics>

¹¹ Véase <https://www.bbc.com/future/article/20200305-why-your-internet-habits-are-not-as-clean-as-you-think>

Uno de los grandes consumidores de energía/red es la transmisión de videos. En 2020, el tráfico de transmisión de videos alcanzó 80% del tráfico total generado por consumidor de datos en red (Carbon Trust, 2021), aunque algunas agencias reportan hasta 87% (IEA, 2017). Eso significó, en números reales, que cada segundo a través de la red corría el contenido de un millón de minutos de contenido, hecho que se incrementó con la oferta de Facebook y Twitter de servicios de transmisión de videos en tiempo real (Cook *et al.*, 2017).

Estudios de algunas agencias especializadas en el tema reportan que el consumo promedio de CO₂ de videos transmitidos en línea es de más de 300 millones de toneladas por año, similar a lo que producen en total países como España, Holanda o Nueva Zelanda. Asimismo, se afirma que la transmisión de diez horas de películas con calidad HD requiere más bites y *bytes* que todos los artículos publicados hasta ahora por plataformas como Wikipedia.¹²

En otro orden de ideas, derivado de las restricciones de movilidad implementadas a nivel global por el Covid-19, la dependencia tecnológica disparó sus números a medida que las videollamadas, los correos electrónicos, la mensajería instantánea y el entretenimiento virtual reemplazaron las interacciones sociales cara a cara; el tránsito de un número importante de trabajos a casa (*homeoffice*) así como la educación virtual (*homeschooling*) aumentaron estos números en 40%, lo que planteó un escenario que, en un porcentaje significativo, quedará de esa forma en un futuro inmediato; esto implica que los 3.8 mil millones de usuarios de internet antes de la pandemia aumentarán a 5 mil millones en 2025, impulsados por este uso del espacio virtual (Bertoli *et al.*, 2022).

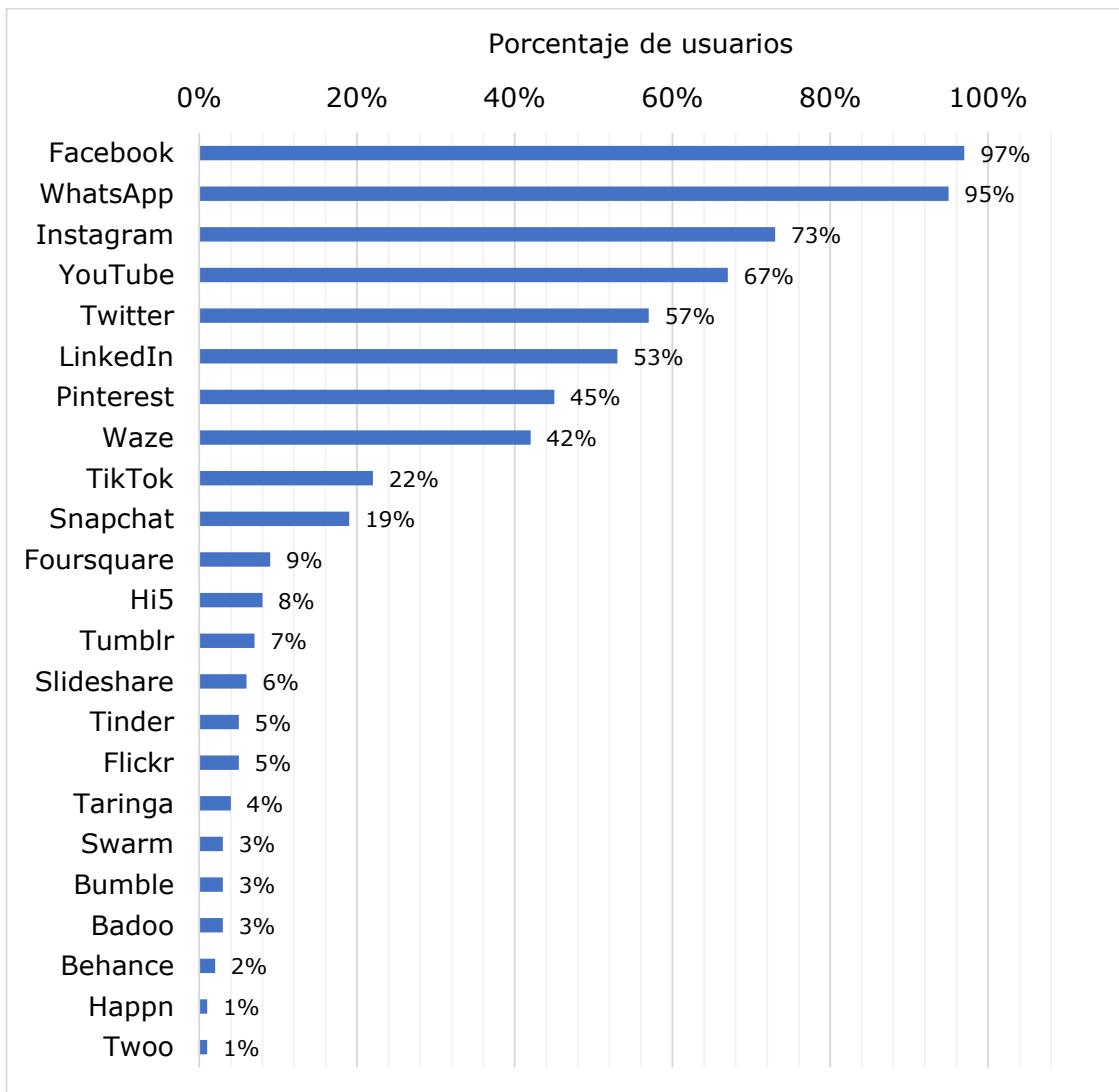
En México, esta tendencia durante la pandemia se vio reflejada en la utilización cada vez más generalizada de las redes sociales: Facebook, WhatsApp e Instagram son, por encima de YouTube y Tik Tok, las más empleadas (gráfica 3).

En este mismo sentido, el entretenimiento en tiempo real mostró sus números más altos en los cinco meses posteriores al inicio del confinamiento global, lo cual le acercó a un porcentaje cercano a 71% de los *bytes* descendentes durante este período. Plataformas como Netflix representaron 35% del tráfico de datos vía *streaming* (Sweney, 2020). La transmisión de una hora de video en Full HD requiere entre 220 y 370 vatios/hora de energía eléctrica, dependiendo del medio de transmisión (dispositivo móvil, *tablet* o TV) (Koomey, 2020). Esto suma

¹² Véase <https://theshiftproject.org/en/article/oil-what-are-the-risks-for-the-future-of-europe-supply-the-new-shifts-report-about-peak-oil/>

alrededor de 100 a 175 gramos de CO₂, lo que equivaldría a conducir un kilómetro en un automóvil pequeño (Hintemann y Clausen, 2016).

Gráfica 3. Redes sociales con el mayor porcentaje de usuarios en México, enero de 2021



Fuente: elaboración propia con datos de Statista (2021).

Las dos plataformas más comunes que transmiten música, Spotify y Apple Music, emitieron alrededor de 200 a 350 millones de kilogramos de GEI entre 2015 y 2016, lo que, paradójicamente, resulta más perjudicial que la huella ecológica resultante tanto de la producción como de la eliminación de discos compactos (Hintemann y Clausen, 2016).

La economía digitalizada ha sido también estudiada en este sentido. Las criptomonedas consumen una gran cantidad de energía: las transacciones de Bitcoin, probablemente la moneda digital más conocida, consumieron alrededor de 819 kWh, mientras que el sistema en su conjunto produjo alrededor de 22 megatones de CO₂ en 2018, equivalente a la huella de carbono de ciudades como Hamburgo, Viena y Las Vegas (Foteinis, 2018).

Algunas de las grandes corporaciones líderes en plataformas digitales asumieron compromisos de abastecimiento energético basado en renovables, tendencia que se ha visto incrementada por empresas globales (Cook *et al.*, 2017). Esto ha llevado a afirmar que, a diferencia de industrias como la aviación o la industria pesada (quienes tendrán un tránsito muy lento hacia la carbononeutralidad), los centros de datos que alimentan estas plataformas pueden hacer este camino de manera más sencilla, mediante políticas públicas e inversión.¹³

En suma, aseveramos que el incremento de la HCD tiene un alto impacto socioambiental, ya que nos aleja de la carbononeutralidad señalada por la Agenda 2030 y solo será mitigado en tanto se entrelace con nuevos modelos de gestión energética (energías renovables) que optimicen tanto la infraestructura (*data centers*) el uso mismo del internet, como el almacenamiento de la información en la nube.

Conclusiones

Como hemos analizado en esta investigación, un sinfín de acciones sociales cotidianas se llevan a cabo en línea; estas viajan en forma de paquete a través de los centros de datos y sus servidores. Por lo tanto, es prioritario observar y estudiar el uso de energía que estos espacios requieren; esto nos conduce a una profunda reflexión sobre cuán ávida y necesaria es la digitalización.

Sin embargo, hoy en día es casi imposible decir con certeza qué tan altos son los requisitos energéticos actuales de todos los centros de datos alrededor del mundo. Los cálculos estimados actuales oscilan entre 200 y 500 mil millones de kilovatios hora por año, un estimado de 3% de la electricidad mundial. Las predicciones futuras también difieren considerablemente, con cifras entre 200 mil millones y 300 mil millones de kilovatios hora pronosticados para el año 2030.

Las opiniones de los expertos difieren debido a la ausencia de cifras oficiales reportadas para los centros de datos y su papel de almacenamiento y gestión de información global. Un gran número de estos operadores se muestran aún reacios a proporcionar información sobre su consumo de energía debido a su preocupación

¹³ Véase <https://iea.org/reports/data-centers-and-data-transmission-networks>

sobre la competitividad y la seguridad. Por lo pronto, solo podemos acercarnos a las cifras reales a través de estimaciones, por lo que este, entre algunos otros puntos, quedará para futuros estudios.

Lo que queda claro por ahora es que este modelo de digitalización tiene una alta huella ecológica, ya que genera enormes cantidades de calor como producto de desecho. Por tanto, reducir el consumo de energía de los centros de datos es un paso importante para lograr que la digitalización se acerque a su sostenibilidad. Aventuramos tres escenarios para esto: 1) encontrar formas más eficientes de enfriar los centros de datos, 2) reutilizar el calor residual, y 3) buscar alimentarlos con energías renovables.

Además, nuestro consumo de energía digital no solo está determinado por lo que hacemos, sino también por cómo lo hacemos; es decir, no podemos dejar de lado que el *software* que utilizamos también tiene una huella ecológica importante. Por ejemplo, un procesador de texto menos eficiente necesita cuatro veces más energía para procesar el mismo documento en uno eficiente. Aunque también es cierto que las actualizaciones de *software* a menudo hacen que las computadoras o los teléfonos inteligentes se ralenticen o dejen de funcionar, lo que obliga a los consumidores a comprar nuevo *hardware*.

Finalmente, en el futuro inmediato, la creciente demanda de electricidad para la digitalización seguramente también se verá impulsada por un aumento de las tecnologías inteligentes, como las que utilizamos cada vez más en el hogar, en la educación, en el sector de IoT, en la industria y en nuestras ciudades cada vez más tecnificadas.

Una digitalización sostenible será viable en tanto aprendemos a gestionar con equilibrio las herramientas y los servicios digitales con moderación y en los lugares adecuados. El tema de la sostenibilidad debe contemplar, desde luego, el análisis de los productos y servicios a lo largo de todo el ciclo de vida, tendiente a optimizar tanto su uso como las fuentes de energía base, y buscar más alternativas a los grandes actores de nuestro mundo digitalizado.

Ello implica un esfuerzo conjunto de fabricantes, consumidores y proveedores de servicios digitales, quienes deben tender hacia la reducción del impacto ambiental de esta civilización cada vez más digitalizada; el incentivo para ello, tema de futuras investigaciones, vendrá en última instancia de las políticas públicas y de la serie de regulaciones que se gestionen a escala global.

La revolución digital, sin una gestión a favor de la carbononeutralidad, está destinada a aumentar nuestro consumo de recursos y energía, lo que acelera el daño al medio ambiente y la llegada a los puntos de no retorno.

Si bien es cierto que algunos desarrollos digitales optimizan la vida humana, hacerlo sin control amenaza con socavar la sostenibilidad del planeta. Garantizar que la digitalización se ponga al servicio del desarrollo sostenible y que la digitalización en sí se ejecute y aplique en este sentido, deberá ser una prioridad política y social en el futuro próximo.

Referencias

- Andrae, A. y Edler, T. (2013). *On Global Electricity Usage of Communications Technology: Trends to 2030*. Sweden: Huawei Technologies.
- Andrae, A. y Corcoran, P. (2015). Emerging trends in electricity consumption for consumers ICT. *Electrical and Electronic Engineering*. <https://aran.library.nuigalway.ie/xmlui/handle/10379/3563>
- Bakar, A.; Shehabi, A. y Marston, L. (2021). The environmental footprint data centers in the United States. *Environmental Research Letters*, 16(6). https://data.lib.vt.edu/articles/dataset/The_environmental_footprint_of_data_centers_in_the_United_States/14504913
- Bertoli, E.; Troilo, M.; Al Mugharbil, A.; Rozite, V. y Le Marois, J. B. (2022). The potential of digital business models in the new energy economy. <https://www.iea.org/articles/the-potential-of-digital-business-models-in-the-new-energy-economy>
- Belkhir, L. y Elmeligi, A. (2018). Assessing ICT Global Emissions Footprint: Trends to 2040 & Recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 177, 448-463. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261733233X>
- Carbon Trust. (2021). *Carbon impact of video streaming*. London: Carbon Trust. <http://carbontrust.com/resources/carbon-impact-of-video-streaming>
- Christian, P. (2018). Where are the World's Cloud Data Centers and Who is Using Them? *TeleGeography Blog*. <https://blog.telegeography.com/where-are-the-worlds-cloud-data-centers-and-who-is-using-them>
- ClimateCare. (2021). Together we have cut 100 million tonnes of CO2. *ClimateCare*. <https://www.climatecare.org/resources/news/together-weve-cut-100-million-tonnes-of-co2/>
- Cook, G.; Lee, J.; Tsai, T.; Kong, A.; Deans, J.; Johnson, B. y Jardim, E. (2017). *Clicking clean: who is winning the race to build a green internet?* Washington: Greenpeace.
- Foteinis, S. (2018). Bitcoin's alarming carbon footprint. *Nature*, 554(7690), 169-182. <https://go.gale.com/ps/i.do?p=HRCA&u=anon~5571b62c&id=GALE|A660257793&v=2.1&it=r&sid=googleScholar&asid=c7c0f001>
- Global Bandwidth Research Service. (2021). *Submarine Cable Map*. <http://submarinecablemap.com>
- GSMA. (2020). *The Mobile Economy*. https://www.gsma.com/mobileeconomy/wpcontent/uploads/2020/03/GSMA_MobileEconomy2020_Global.pdf
- Hintemann, R. y Clausen, J. (2016). *Green Cloud? The current and future development of energy consumption by data centers, networks and end-users' devices*. Berlín: Border Institute. <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2016/09/ICT4S-Hintemann-Clausen-Green-Cloud-final-2016.pdf>

- International Energy Agency (IEA). (2017). *Digitalization & Energy*. París: OECD, IEA.
- International Panel of Climate Change (IPCC). (2021). *Emissions Gap Report 2021*. New York: United Nations.
- Koomey, J. (2011). Growth in data center electricity use 2005 to 2010. A report by Analytics Press. <https://alejandrobarros.com/wp-content/uploads/old/4363/Growth in Data Center Electricity use 2005 to 2010.pdf>
- Koomey, J. (2020). Factcheck: What is the Carbon Footprint of Steaming Video on Netflix? *Carbon Brief*. <https://www.carbonbrief.org/factcheck-what-is-the-carbon-footprint-of-streaming-video-on-netflix>
- Marius, O. (2021). This is how we reduce data centers' carbon footprint. #SINTEFblog. <https://blog.sintef.com/%20sintefenergy/this-is-how-we-reduce-data-centers-carbon-footprint/>
- Masanet, E.; Shehabi, A.; Lei, N.; Smith, S. y Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-uses estimates, *Science*, 367(6481), 984-986.
- Osibanjo, O y Nnorom, I. (2007). The challenge of electronics waste (e-waste) management in developing countries, *Waste Management & Research: Journal for a Sustainable Circular Economy*, 25(6), 17-46. <https://doi.org/10.1177/0734242X07082028>
- Ozcan, B. y Apergis, N. (2018). The impact of internet use on air pollution: Evidence from emerging countries, *Environmental Science & Pollution Research*, 25, 4174-4189. <https://www.proquest.com/openview/64836b648dc1dcd698bf24aea50be928/1?pq-origsite=qscholar&cbl=54208>
- Páez, L. y Velásquez, C. (2020). *TIP de TIC. ¿Sabías que tienes huella de carbono digital?* Universidad CES: Repositorio Digital Institucional. <https://repository.ces.edu.co/handle/10946/4880#:~:text=Resumen,medio%20ambiente%20aprende%20c%C3%B3mo%20reducirla>
- Rajaraman, V. (2014). Cloud computing, *Resonance*, 19, 242-258. <https://doi.org/10.1007/s12045-014-0030-1>.
- Shehabi, A.; Smith, S.; Sartor, D.; Brown, R.; Herrlin, M.; Koomey, J.; Masanet, E.; Horner, N.; Lima, I. y Lintner, W. (2016). *United States Data Center Energy Usage Report*. New York: University of Berkeley.
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. New York: Crown Business.
- Statista. (2020). Number of smartphone users from 2016 to 2021. <https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/>
- Statista. (2021). Digital 2021. Global Overview Report. Datareportal. <https://datareportal.com/reports/digital-2021-global-overview-report>
- Sweeney, M. (2020). Streaming's dirty secret: how viewing Netflix top 10 creates vast quantity of CO2. The guardian, octubre 2021. <https://www.theguardian.com/tv-and-radio/2021/oct/29/streamings-dirty-secret-how-viewing-netflix-top-10-creates-vast-quantity-of-co2>
- Taormina, B.; Bald, J.; Want, A.; Thouzeau, G.; Lejart, M.; Desroy, N. y Carlier, A. (2018). A review of potential impacts of submarine power cables on the marine environment: Knowledge gaps, recommendations and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96, 380-391. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118305355>
- Wheeling, K. (2017). Do submarine power cables affect marine ecosystems? *Pacific Standard on line*. <https://psmag.com/environment/do-submarine-power-cables-affect-marine-ecosystems>

Este artículo es de acceso abierto. Los usuarios pueden leer, descargar, distribuir, imprimir y enlazar al texto completo, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO:

Castañeda Olvera, D. R. (2022). La nube contaminante. Un análisis socioambiental de la huella de carbono digital. *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*, 12(22).
<http://dx.doi.org/10.32870/Pk.a12n22.730>

* Profesor de tiempo completo, División Académica de Ciencias de la Sustentabilidad, Universidad Tecnológica Fidel Velázquez, México. Doctor en Sociología, Universidad Autónoma Metropolitana, México. Estudios posdoctorales en la Unidad de Estudios del Desarrollo, Universidad Autónoma de Zacatecas, México. Correo electrónico: rafaelcastaneda7@gmail.com